

**Diseño e implementación de un aplicativo móvil para realizar la detección temprana de la enfermedad de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátanos**

**Yurley Tatiana Tovar Martínez**

**Tutor**  
**M.Sc. Arley Bejarano Martínez**

**Universidad Tecnológica de Pereira**  
**Facultad de ingenierías Eléctrica, electrónica, física y ciencias de la computación**  
**Programa de Ingeniería Electrónica**  
**2019**

## CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
3. JUSTIFICACIÓN .....	14
4. OBJETIVO GENERAL .....	16
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
6. ESTADO DEL ARTE .....	17
7. MARCO TEÓRICO .....	20
7.1 <i>Visión por computador</i> .....	21
7.2 <i>Modelo de color RGB</i> .....	21
7.3 <i>Modelo de color escala de grises</i> .....	22
7.4 <i>Modelo de color HSV</i> .....	22
7.5 <i>Transformada rápida de fourier (FFT)</i> .....	24
7.6 <i>Transformada discreta wavelet</i> .....	25
7.7 <i>Histograma</i> .....	26
7.8 <i>Machine learning</i> .....	26
7.9 <i>Árbol de decisiones</i> .....	27
7.10 <i>Servidor http apache</i> .....	28
7.11 <i>Librería volley</i> .....	28
7.12 <i>Escala de Fouré</i> .....	29
8. DESARROLLO .....	31
8.1 <i>Metodología del algoritmo para la detección de la Sigatoka</i> .....	27
8.1.1 <i>Base de datos</i> .....	27
8.1.2 <i>Diseño del algoritmo</i> .....	33
8.1.2.1 <i>Segmentación de imágenes</i> .....	33
8.1.2.2 <i>Extracción de características</i> .....	33
8.1.2.3 <i>Clasificación de la enfermedad</i> .....	34
8.2 <i>Funcionamiento del aplicativo móvil</i> .....	35
8.2.1 <i>Control de la enfermedad de la Sigatoka negra por medio de imágenes</i> .....	37

8.2.2 Control de la enfermedad de la Sigatoka negra por medio de la humedad y temperatura .....	41
8.3 Diagramas de flujo del funcionamiento del aplicativo móvil .....	42
8.4 Integración del algoritmo en el aplicativo móvil .....	44
9. ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	48
9.1 Encuestas .....	48
9.2 Pruebas de validación del aplicativo móvil .....	51
9.2.1 Pruebas en diferentes celulares .....	51
9.2.2 Pruebas en diferentes redes .....	53
9.3 Pruebas de validación del algoritmo .....	54
10. CONCLUSIONES .....	55
11. TRABAJOS FUTUROS .....	57
12. BIBLIOGRAFÍA .....	58

## Índice de figuras.

	Páginas
Figura 1. Notación decimal de colores en el modelo de color RGB .....	21
Figura 2. Transformación de escala RGB a escala de grises de una imagen por medio de la ecuación 1. [40] .....	22
Figura 3. Transformación de escala RGB a HSV de una imagen por medio de las ecuaciones 2,3,4,5,6,7 y 8 [43] .....	24
Figura 4. Salidas obtenidas a partir de la transformada discreta wavelet de una imagen [47] .....	25
Figura 5. Ejemplo de un histograma el cual en su eje vertical contiene las frecuencias con los que aparecen los datos y el eje horizontal los intervalos de los datos en sí [50] .....	26
Figura 6. Estructura de un árbol de decisión .....	28
Figura 7. Escala de evolución de los síntomas de la Sigatoka Negra según Fouré (1985) .....	30
Figura 8. Ejemplos de la nueva clasificación .....	32
Figura. 9. Segmentación implementada en las imágenes. ....	33
Figura 10. Estructura del árbol de decisión utilizado para determinar la clasificación de nuevos datos .....	35
Figura 11. Diagrama funcional del aplicativo móvil .....	36
Fig. 12. Ventana principal del aplicativo móvil en donde el usuario debe escoger que tipo de control desea realizar .....	37
Fig. 13. Ventana del aplicativo móvil que realiza la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en cultivos de plátanos .....	37
Fig. 14. Icono utilizado para realizar la captura o selección de las imágenes y posteriormente su procesamiento .....	38
Figura 15. Conteo de las hojas de la planta de plátano para la captura de las imágenes de las hojas 3 4 y5 [64] .....	38

Figura 16. Ventana del aplicativo móvil para realizar la selección de la imagen de galería o la captura de imágenes por medio de la cámara integrada al celular .....	39
Figura 17. Icono utilizado para realizar la captura de imágenes directamente de la cámara del celular .....	39
Figura 18. Icono utilizado para agregar imágenes directamente de la galería del celular .....	39
Figura 19. Ventana utilizada para realizar indicar que el procesamiento de la imagen está en marcha .....	40
Figura 20. Cambios de la ventana de la figura 13 a partir de los resultados entregados por el algoritmo de detección .....	40
Figura 21. Imágenes de las ventanas del Control de la enfermedad de la Sigatoka Negra por medio de la humedad y temperatura .....	41
Figura 22. Diagrama de flujo general del aplicativo móvil .....	42
Figura 23. Diagrama de flujo de la ventana principal del aplicativo móvil .....	42
Figura 24. Diagramas de flujo de la ventana de estudio del cultivo por medio de imágenes del aplicativo móvil .....	43
Figura 25. Diagramas de flujo de la ventana de captura o selección de las imágenes en el aplicativo móvil .....	43
Figura 26. Diagramas de flujo de la ventana de estudio del cultivo por medio de la temperatura y humedad .....	44
Figura 27. Diagrama de flujo para realizar el almacenamiento y procesamiento de la imagen entregada por el aplicativo móvil a través del programa Registroimg.PHP que se encuentra en el servidor .....	46
Figura 28. Diagrama de flujo de la ventana principal del aplicativo móvil para poner en funcionamiento del servidor .....	47
Figura 29. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores...	48
Figura 30. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores...	49
Figura 31. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores...	50

## Índice de tablas.

	Página
Tabla 1. Etiquetas de la Base de Datos .....	32
Tabla 2. Lista de celulares utilizado para realizar pruebas de funcionalidad del aplicativo móvil .....	52
Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de la prueba realizada con diferentes redes ....	53
Tabla 4. Matriz de confusión con las etiquetas generadas por cada una de las imágenes .....	54

**Este trabajo hace parte del proyecto de Colciencias “Sistema experto para la detección automática de la Sigatoka Negra producida por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* en los cultivos comerciales de plátano para la generación de alertas tempranas utilizando TICS”, contrato 160-2018, código 111077657454**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecerle a mis padres y a mi hermano quienes han sido mi apoyo incondicional en todo este proceso tanto económico como emocional, por confiar en mí y en mis capacidades siempre y quienes son mi inspiración en todo lo que hago.

Agradezco al grupo de investigación de ingeniería electrónica GIIE y a los docentes de ingeniería electrónica por compartir todos sus conocimientos a lo largo de toda la carrera y en especial a mi director de tesis Arley Bejarano Martinez por tiempo y su continua guía durante todo este proceso, por la paciencia y por su fe en mí. A mis compañeros de estudio quienes fueron pieza importante por su ayuda y horas de estudio compartidas y en especial a Julio Díaz por su apoyo incondicional durante toda la carrera.

Agradezco a la universidad tecnológica de Pereira por darme la oportunidad de estudiar tan excelente carrera ya que me permitió enriquecer de gran manera mis conocimientos en áreas como la investigación.



## **RESUMEN**

Este trabajo de investigación, tiene como fin presentar el diseño e implementación de un aplicativo móvil para realizar la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátanos de manera temprana, con el fin brindarles a los agricultores una herramienta tecnológica que les permita actuar a tiempo frente a esta problemática que afecta sus cultivos y puede generar pérdidas considerables en sus producciones y por lo tanto disminuir sus ganancias.

El aplicativo utiliza un sistema en donde los agricultores pueden capturar imágenes de las hojas de las plantas de sus cultivos, para luego ser procesadas por medio de algoritmos de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático, al enviar las fotos a un servidor. Una vez se realiza este proceso se genera la respuesta identificando el nivel de enfermedad que presenta la hoja o el estadio en el que se encuentra el sector analizado, esto se debe a que la aplicación está basada en la escala estándar de Fouré, la cual describe la evolución de los síntomas de la Sigatoka Negra.

Por otro lado, se realizaron pruebas de validación, con el fin de corroborar el correcto funcionamiento del aplicativo móvil a nivel de comunicación con las diferentes redes de datos disponibles (WIFI, 3G y 4G), adicional se reporta el porcentaje de acierto que presenta la aplicación en cuanto la detección de la Sigatoka Negra.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Todos los cultivos requieren de cuidados especiales en cuanto a iluminación, abono y pesticidas, ya que, si se desea obtener un producto de buena calidad, es necesario garantizar las condiciones propicias, como una excelente calidad en los productos. Es por esto, que actualmente existen diferentes plataformas web a nivel mundial, que permiten que las personas se informen acerca del control que se debe realizar en los cultivos para evitar que los frutos se vean afectados por diferentes enfermedades y plagas [1].

Colombia en la actualidad, presenta suelos fértiles con más de once millones de hectáreas cultivables en todo el país [2], en donde uno de los productos principales que generan mayores ingresos representando cerca del 50% de las áreas sembradas es el plátano [3]. Sin embargo, estos se han visto afectados por diferentes enfermedades como la Sigatoka Negra, la cual se presenta inicialmente como estrías que son casi imperceptibles en las hojas de la planta y luego en un estado más avanzado puede llegar a afectar totalmente la capacidad fotosintética de la planta lo que conlleva a que su control sea más dificultoso y pérdidas económicas [4].

Cabe resaltar, que a partir de la expansión tecnológica que se ha venido dando los últimos años a nivel mundial, las TIC se han convertido en una pieza fundamental para los agricultores, dado que por medio de estas pueden encontrar diferentes herramientas para mejorar el estado de sus cultivos, realizando la detección de enfermedades y el intercambio de información entre los mismos agricultores. Algunas de estas herramientas son páginas web como Appsforfarming en Holanda en donde los agricultores pueden registrar y compartir información y experiencias acerca de sus cultivos. Por otra parte, FruTIC en Argentina, es una página en donde estos mismos pueden encontrar prácticas para realizar el control de diferentes plagas. De igual manera en Alemania, en la página Porgis se encuentran herramientas para la agricultura forestal y gestión de riesgos, entre otras [1].

Por otro lado, también se encuentran otras herramientas tecnológicas que hacen parte de la innovación en el modelo agrícola actual, como lo son las diferentes maquinarias que funcionan a través de GPS, los sensores de transmisión de datos, dispositivos de limpieza automáticos, drones y aplicativos móviles [5][6][7][8][9][10]. Dentro de estas herramientas cabe destacar las aplicaciones móviles las cuales permiten que los agricultores pueden hacer uso manera fácil y económica, debido a que son de fácil acceso y en su gran mayoría funcionan de manera gratuita. Por ejemplo, IVIA se encarga de la gestión de plagas y enfermedades de cítricos, Farm Manager por su parte permite registrar procedimiento de maquinaria agrícola [12], y otras apps como Nutrient Field Guide y Fertilizer removal tienen la función de calcular la extracción de nutrientes del suelo [13].

Sin embargo, aunque este tipo de tecnologías representan la solución a diferentes problemáticas que se tienen en la agricultura, en Colombia muchas de estas herramientas no se utilizan debido a la falta de recursos para implementar este tipo de proyectos, por lo tanto, en este trabajo se desarrolló una herramienta móvil que le permita al agricultor tener un conocimiento del estado actual de su cultivo en base a algoritmos de visión por computador, que ya se han propuesto para la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en el plátano, pero estas metodologías normalmente se implementan en computadores, por lo tanto surge la necesidad de llevar estas metodologías a un aplicativo móvil con el fin de que puedan ser utilizados en campo por los agricultores para mejorar su producción.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Colombia, ha sido de los principales productores de plátano a nivel mundial, esto se debe a las buenas condiciones climáticas que se presentan en el país, así como los diferentes tratamientos que se le realizan a las tierras en donde se produce. Sin embargo, es necesario monitorear constante a todos los cultivos, puesto que los cambios abruptos del medio ambiente propician las condiciones idóneas para la proliferación de enfermedades que pueden generar grandes pérdidas económicas para los agricultores al disminuir la calidad de los frutos e incluso llegar a generar la pérdida total de la producción. Uno de los tratamientos más importantes que se hace sobre estos cultivos, es el control de la enfermedad de la Sigatoka Negra, puesto que está afecta totalmente las hojas de la planta, teniendo como consecuencia la reducción de hasta el 50% del peso total del racimo, pérdida del 10% en la calidad del mismo y provoca maduración prematura de los frutos [3].

Los agricultores en los últimos años han venido haciendo uso de diferentes tecnologías para lograr que sus cultivos crezcan de manera adecuada. En el caso de los cultivos de plátanos, existen diferentes páginas web, en donde las personas pueden informarse acerca de los cuidados que se deben tener para prevenir las enfermedades y plagas que los pueden afectar. Sin embargo, en el caso de la Sigatoka Negra, su prevención se hace compleja debido a que actualmente los agricultores realizan la detección de la enfermedad, al observarse algún tipo de mancha de aproximadamente 20 x 2 mm café rojiza oscura en las hojas de la planta cuando la enfermedad ya se encuentra en un estado avanzado, teniendo en cuenta que esta misma inicia con manchas pequeñas de al menos 0.25 mm de diámetro en donde resulta casi imperceptible [14].

Es por esto, que se diseñó un aplicativo móvil, el cual, por medio de la captura de imágenes de las hojas de las plantas de plátano y el procesamiento digital de las mismas, realiza la detección del estado en el que se encuentra de la enfermedad para generar una alerta

temprana, facilitando el diagnóstico de la Sigatoka Negra, con el fin de que los agricultores tomen medidas de acuerdo al resultado obtenido y así evitar pérdidas económicas.

### **3. JUSTIFICACIÓN.**

Actualmente existe una gran variedad de herramientas tecnológicas que permiten mejorar la calidad de vida de las personas y en especial a las que presentan algún tipo de discapacidad, al solucionar diferentes problemáticas en ámbitos tanto laborales como económicos, sociales, médicos, educativos y culturales. Una de las herramientas más utilizada en la cotidianidad es el celular o Smartphone, que aparte de ser intuitivo y fácil de usar, ofrece una variada cantidad de funciones que permiten realizar tareas como el pago de servicios, buscar una dirección, transferir dinero, concretar citas médicas, pedir domicilios, interactuar con otras personas, entre otras. Todo esto con el fin de que todo se efectúe de una manera rápida logrando ahorrar tiempo y energía [15].

A partir de lo dicho anteriormente, se puede destacar que entre las funciones que se tienen en los celulares también abarcan herramientas para el área de la agricultura, en donde se pueden encontrar aplicaciones para obtener información sobre los cultivos, consultar acerca de nutrición y fertilización de suelos [16], climatología, noticias, eventos, precios, entre otros [17] [18].

A pesar de existir unas diferentes ayudas que le permiten al agricultor conocer de manera detallada su cultivo junto a los controles y monitoréos necesarios para obtener una excelente cosecha, no existen herramientas que les permitan hacer una detección específica de algunas enfermedades que pueden causar incluso la pérdida total de la producción. Un ejemplo de esto es la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátanos, la cual actualmente se realiza de manera visual dando paso a errores por parte del espectador en cuanto a su identificación, o la detección de la misma en un estado avanzado en donde ya se genera pérdidas en la calidad y peso de los frutos de la planta y por lo tanto también económicas.

Es por esto que se diseñó e implementó un aplicativo móvil para realizar la detección temprana de la enfermedad de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátanos, con el fin de que el agricultor pueda conocer el estado de la planta respecto al avance de esta patología y así mejorar considerablemente su cultivo pudiendo actuar pertinentemente frente a dicha problemática que afecta de forma negativa la calidad del plátano, teniendo como fin lograr que los campesinos obtengan mayores ganancias a la hora de vender sus productos e incluso llegar a exportarlos.

#### **4. OBJETIVO GENERAL.**

- Diseñar e implementar un aplicativo móvil, para realizar la detección temprana de la enfermedad de la Sigatoka Negra en los cultivos de plátanos.

#### **5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Diseñar la interfaz gráfica de usuario del aplicativo móvil que permita ingresar la información de humedad y temperatura además de la captura de imágenes.
- Implementar un algoritmo de visión por computador dentro del aplicativo móvil que permita la detección de la Sigatoka Negra.
- Realizar una validación de usuario con pruebas de funcionalidad del aplicativo móvil.



## **6. ESTADO DEL ARTE.**

Colombia se encuentra el cuarto puesto en producción de este fruto a nivel mundial, en donde el principal departamento productor es Antioquia con el 14% del área total equivalente a las 61.000 hectáreas según registros al 2017, en donde las variedades cultivadas a nivel nacional son el dominico hartón, hartón, comino y trescientos [19] [20]. La calidad del plátano producido al interior de Colombia es muy variable debido a la diversidad de las tecnologías utilizadas y los sistemas de producción, puesto que la cosecha y el pos cosecha son los aspectos que más inciden en esta característica [21]. En el país, el mal manejo del corte, las enfermedades, las plagas y la inexistencia de tecnología para el manejo y conservación de la planta son los causales de las principales pérdidas en la producción.

En el caso de las enfermedades, el diagnóstico de estas en algunas ocasiones se logra por medio de la observación, ya que los síntomas son característicos y se procede a realizar el control. Sin embargo, existen patologías las cuales son difíciles tanto de detectar como de identificar. Esto se debe a que existen enfermedades que solo se detectan cuando ya se encuentran en estado avanzado, o se pueden confundir los tipos de patologías, en donde no se puede descartar que la posibilidad de que varios patógenos afecten al mismo tiempo a la planta [22].

La Sigatoka Negra, es una enfermedad foliar causada por un hongo que afecta principalmente las plantas musáceas a nivel mundial como el plátano y el banano, lo que causa que el racimo disminuya considerablemente hasta reducir en un 50% el peso en los racimos y causar pérdidas hasta del 100% de la producción generando costos económicos para los campesinos muy altos [3] [14]. Es por esto que se debe establecer una estrategia de manejo de la enfermedad efectuando la práctica del deshoje de la planta y la utilización de funguicidas, sin embargo, el uso de estos últimos debe ser justificado y supervisado para evitarlos sobrecostos y daños tanto en la salud como el medio ambiente [14].

En base a lo dicho anteriormente, los agricultores a nivel mundial, han venido implementado en sus cultivos algunas herramientas que brinda las TIC para mejorar tanto la producción, como la calidad de sus productos y la comunicación entre ellos mismos, ya que estas mismas les brindan diferentes soluciones para obtener mayores ganancias apostándole a la tecnología como la mejor solución para mejorar la calidad de sus cultivos. Una de las herramientas TIC más utilizada a nivel mundial son los teléfonos móviles, esto se debe a la gran variedad de aplicaciones que se desarrollan gracias a su capacidad de almacenamiento de datos y estructura, con el fin de realizar tareas de diferentes tipos como educativas, profesionales, de ocio, de acceso servicios, de comunicación, entre otras [22]. En el caso de la agricultura, existe una gran variedad de aplicativos móviles para sistemas operativos como iOS, Android y Windows phone, que permiten realizar diferentes tareas en esta área [23]. Por ejemplo, existen aplicaciones como Ag PhD Field Guide App de Canadá, la cual permite realizar una identificación de plagas y malezas al proporcionar nombre y fotos de las mismas, en donde también ofrece solución para el control o exterminación de las mismas [24]. Por otra parte, AgWired de Estados Unidos, presenta las últimas noticias del mercado agropecuario y pronósticos climáticos. De igual manera en Grecia, totheshelf permite una comunicación directa entre compradores y vendedores de productos agrícolas [25].

Actualmente el desarrollo de todo tipo de aplicaciones ha crecido exponencialmente, en donde los sistemas operativos pioneros en este campo, son Android de la empresa de Google y IOS con Apple. Sin embargo, ambos contienen prestaciones totalmente diferentes, en el caso de Android, es una plataforma de software libre, el cual permite realizar todo tipo de aplicaciones y presenta una alta adaptabilidad a todo tipo de pantallas dependiendo de las especificaciones del celular en donde se utilice una app, es por esto, que hoy en día las personas que desean desarrollar algún tipo de plataforma móvil eligen este sistema al presentar alta flexibilidad en cuanto a su programación y la facilidad de acceder a las herramientas que se presentan junto a un teléfono móvil como la cámara, acelerómetros, entre otros [26] [27]. No obstante, a pesar de las ventajas que se presentan al desarrollar una aplicación en cualquier sistema operativo, aún se presentan algunas limitaciones en

cuanto a características físicas de los móviles, ya que algunas apps's tienden a fallar si las características de los celulares no cumplen con ciertos estándares [28].

Cabe resaltar, que todos los avances tecnológicos que se han venido presentando a nivel agropecuario, se ha dado gracias a la agricultura de precisión, puesto que es la encargada de generar estos sistemas para mejorar la calidad y productividad de los cultivos satisfaciendo las exigencias de la agricultura moderna [29] [30], en donde la inteligencia artificial se encuentra en el punto de utilizar algoritmos para la detección de enfermedades en las plantas, esto se ve reflejado en el hecho de que un grupo en la universidad de penssylvania State University École Polytechnique Fédérate de Lausanne en suiza han encontrado por medio de esta herramienta una clave para detectar anomalías en las plantas y evitar su dispersión, mejorando tanto la salubridad de los consumidores como la economía de los agricultores [31].

## **7. MARCO TEÓRICO.**

Recientemente, el uso de teléfonos inteligentes se ha convertido en algo indispensable para todas las personas y no solamente por la comunicación telefónica que estos permiten, sino también por las grandes utilidades que representan a través de aplicativos móviles que buscan hacer la vida de las personas más fácil y realizar tareas en el menor tiempo posible, esto se debe a que las empresas de igual manera han encontrado una herramienta tecnológica que les ha permitido automatizar algunos de sus procesos teniendo un canal directo entre la misma y los usuarios, con el fin de disminuir costos, tiempos de atención y aumentar el número de clientes junto a sus ganancias. Es por esto, que el desarrollo de aplicativos móviles se encuentra en su punto más alto en Colombia, representando el mayor el crecimiento en la industria de desarrollo de software, en donde el objetivo principal es el de brindar soluciones a problemáticas en todo tipo de áreas como por ejemplo en este caso de agricultura [32].

A partir del hecho de que cada vez los agricultores buscan nuevas tecnologías para mejorar el estado de sus cultivos, se propone implementar un aplicativo móvil con el fin de que estos mismos puedan detectar la enfermedad de la Sigatoka Negra con solo capturar imágenes de las hojas de la planta de plátano con la cámara de su celular, brindando también datos indispensables como la humedad y la temperatura del lugar, con el fin de que puedan actuar a tiempo, evitando pérdidas considerables en sus producciones.

Para obtener la detección de la enfermedad por medio del aplicativo móvil, se utilizó un algoritmo basado principalmente en dos campos de la inteligencia artificial como lo son visión por computador y machine learning, junto a herramientas utilizadas en la transformación y análisis de señales como la transformada rápida de Fourier, transformada de wavelet, histogramas, entre otras. Por otro lado, para implementar dicho algoritmo en la aplicación, fue necesario hacer uso de un servidor remoto con el fin de que este realizara procesamiento de la imagen.

### 7.1 Visión por computador.

El campo de visión por computador, es el encargado de extraer información específica de las imágenes llevando a cabo una interpretación del mundo real de manera digital, detectando tanto texturas como colores [33]. Su función principal es extraer y analizar la información contenida en una imagen determinada, y posteriormente dejar únicamente los datos de interés a través de métodos especializados y algoritmos generalizados de aprendizaje que intentan reproducir la capacidad de la visión humana [34].

Cabe resaltar que a pesar de que este campo se encuentre ligado con el procesamiento digital de imágenes, el objetivo de este último es el de mejorar la calidad de las mismas por medio de filtros sin necesidad de comprender su contenido, mientras que, visión por computador se encarga de resaltar y extraer las características específicas de las fotografías como objetos, modelos 3D, patrones, entre otros [34] [35] [36].

### 7.2 Modelo de color RGB.

Este espacio de color está formado por los colores primarios digitales rojo, verde y azul o en ingles Red, Green y Blue, el cual se utiliza para reproducir más de 16,7 millones de colores en todas las pantallas. Para lograr la representación de un color en específico en este modelo, cada pixel debe contener las tres tonalidades de los colores primarios R, G Y B, en los cuales cada uno de ellos puede tener valores entre 0 (negro) y 255( blanco) lo que se puede identificar en la figura 1 [37].








	Decimal
	153, 255, 0
	255, 153, 153
	255, 51, 255
	0, 102, 255
	255, 51, 0
	153, 153, 204
	102, 0, 0

Figura 1. Notación decimal de colores en el modelo de color RGB.

### 7.3 Modelo de color escala de grises.

La escala de grises es una representación digital de una imagen en la cual solo se presentan diferentes tonalidades de grises. En la figura 2, se puede observar que esta escala cubre un rango limitado de valores de luminosidad utilizando una amplia gama de tonalidades grisáceas y tonos como el blanco y negro [38].



Figura 2. Transformación de escala RGB a escala de grises de una imagen por medio de la ecuación 1. [40]

Para realizar la transformación de una imagen RGB a escala de grises, es necesario tomar de cada pixel, los valores de cada uno de los canales R, G Y B respectivamente, y posteriormente utilizarlos dentro de la ecuación uno con el fin de obtener el tono gris que representa dicho pixel, por lo que cabe resaltar que la nueva imagen pasa a tener un único canal de representación [39].

$$I(x, y) = 0.2989 * R(x, y) + 0.5870 * G(x, y) + 0.1140 * B(x, y) \quad (1)$$

### 7.4 Modelo de color HSV.

Es una transformación no lineal del espacio de color RGB, que permite observar otras características importantes de las imágenes generando un nuevo espacio de color, los cuales se muestran a continuación [41].

- Tono: Se representa como un círculo cromático cuyos valores se encuentran en el rango de 0° a 360° divididos entre cada uno de los canales RGB, en donde 0° es el color rojo (RGB(1,0,0)) ,120° el color verde (RGB (0,1,0)) y 240° el color azul (RGB0,0,1)), por lo que la combinación de ellos dan como resultado los grados intermedios.
- Saturación: Representa la intensidad del tono del color, y sus posibles valores se encuentran entre el 0 y el 100%
- Brillo: Describe la intensidad de luminosidad de la imagen y se encuentra entre los calores 0 y 100%

Para implementar la transformación del espacio de color RGB a HSV como se muestra en figura 3, inicialmente se deben tomar las tres intensidades de los colores RGB de cada pixel, para luego realizar las siguientes ecuaciones con el fin de obtener las tonalidades específicas del modelo HSV [42].

$$R' = \frac{R}{255} \quad G' = \frac{G}{255} \quad B' = \frac{B}{255} \quad (2)$$

$$Cmax = \max(R', G', B') \quad (3)$$

$$Cmin = \min(R', G', B') \quad (4)$$

$$\Delta = Cmax - Cmin \quad (5)$$

Por lo tanto:

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ * \left( \frac{G' - B'}{\Delta} * \text{mod}6 \right) & , \quad Cmax = R' \\ 60^\circ * \left( \frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , \quad Cmax = G' \\ 60^\circ * \left( \frac{G' - B'}{\Delta} + 4 \right) & , \quad Cmax = B' \end{cases} \quad (6)$$

$$S = \begin{cases} 0 & , \quad Cmax = 0 \\ \frac{\Delta}{Cmax} & , \quad Cmax \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$V = Cmax \quad (8)$$



Figura 3. Transformación de escala RGB a HSV de una imagen por medio de las ecuaciones 2,3,4,5,6,7 y 8 [43].

### 7.5 Transformada rápida de Fourier (FFT).

Es una herramienta utilizada en el procesamiento digital de imágenes, que permite el cálculo de la transformada discreta de Fourier de una señal basado en el dominio de la frecuencia, eliminando los elementos repetitivos de la TFD y evitando cálculos de redondeo [44] [45].

Para calcular la FFT se debe aplicar la ecuación 9.

$$F(u, v) = \frac{1}{M * N} \sum_{c=1}^N \sum_{f=1}^M I(c, f) * e^{-j2\pi \left( \left( \frac{u*c}{N} \right) + \left( \frac{v*f}{M} \right) \right)} \quad (9)$$

En donde:

- M = Número de filas.
- N = Número de columnas.
- I(c,f) = valor del pixel de la imagen en escala de grises.
- u = Coordenada espacial de fila en el espacio de Fourier.
- v = Coordenada espacial de columna en el espacio de Fourier.

Dado que esta transformada entrega valores tanto reales como complejos, es necesario obtener solo su magnitud a partir de la ecuación 10, con el fin de realizar el análisis pertinente [44] [45].



$$F(u, v) = \sqrt{(re(u, v))^2 + (im(u, v))^2}$$

### 7.6 Transformada discreta Wavelet.

La transformada discreta wavelet, es una de las herramientas más utilizadas con el fin de resolver problemas de compresión de imágenes, realce de bordes, análisis de texturas y eliminación de ruido de las mismas, permitiendo extraer los detalles contenidos en las imágenes desde diferentes niveles de resolución [46]. Esto se logra a partir de la descomposición la imagen original en cuatro sub-imágenes y aplicando a cada una de ellas unos filtros específicos para proporcionar el realce de los detalles, generando como salida una matriz de cuatro coeficientes, uno de aproximación, y los otros tres con los detalles verticales, horizontales y diagonales respectivamente [46][47].

Por otro lado, la representación de esta transformada, está basada en función de cambios repentinos en cuanto a sus componentes de tiempo y frecuencia, por lo que posee una ventaja por encima de la transformada rápida de Fourier, ya que esta última solo entrega una transformación en función de la frecuencia. Sin embargo, es importante aclarar que la una no necesariamente reemplaza la otra, puesto que, todo depende de la aplicación y los detalles que se quiera obtener a partir de la imagen [46] [47]. En la figura 4, se pueden observar las salidas obtenidas a partir de la transformada discreta wavelet de una imagen.

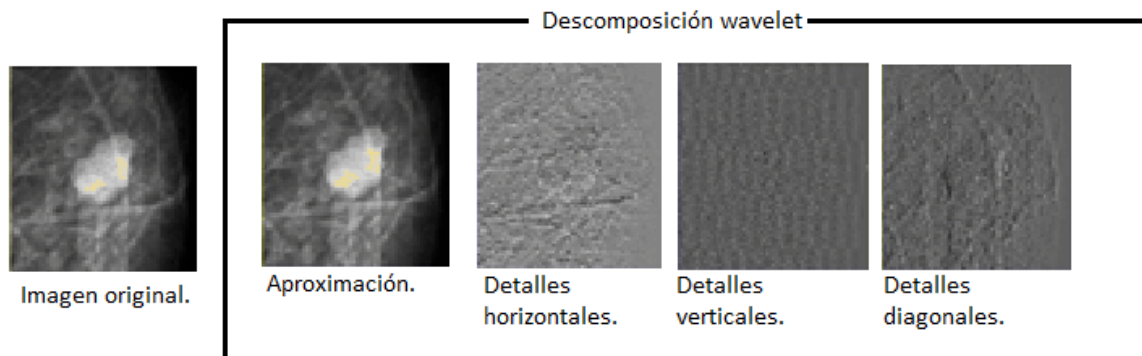


Figura 4. Salidas obtenidas a partir de la transformada discreta wavelet de una imagen [47].

### 7.7 Histogramas.

Un histograma es un diagrama de barras como el mostrado en la figura 5, en donde su función es la de mostrar gráficamente números, variables, y cifras, para que estos se puedan visualizar de una manera más clara y ordenada, a través de intervalos. En éste se pueden encontrar dos tipos de información, en tanto uno representa la frecuencia con la cual aparece un determinado grupo de datos y los intervalos de los datos en sí [48] [49].

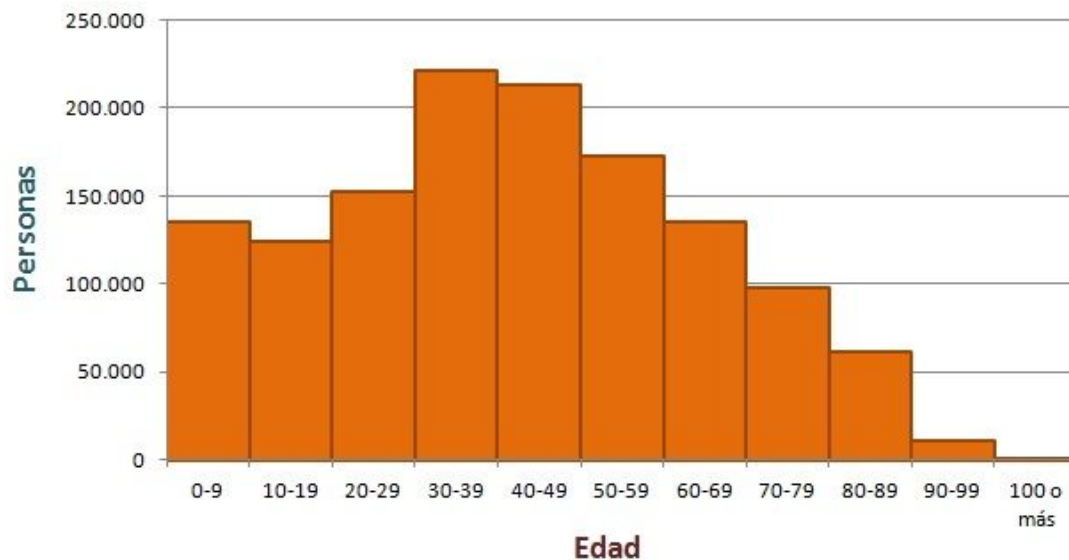


Figura 5. Ejemplo de un histograma el cual en su eje vertical contiene las frecuencias con los que aparecen los datos y el eje horizontal los intervalos de los datos en sí [50].

### 7.8 Machine learning.

Machine learning o aprendizaje de máquina, es un campo de la inteligencia artificial que consiste en implementar técnicas y algoritmos capaces de aprender por si mismos a partir de modelos predictivos con el fin de identificar patrones de comportamiento [51] [52].

Una de las ventajas que se presenta en estos modelos, es que estos mismos aprenden no solo de los datos con los cuales se entrenó el modelo, sino que también guardan la

información obtenida a partir de los nuevos datos entregados, aumentando la complejidad del algoritmo aumentando la efectividad de los cálculos futuros [53].

Los algoritmos encontrados en machine learning se presentan a continuación:

- Aprendizaje supervisado: Son modelos que se crean a partir de entrenamientos que contienen unas etiquetas específicas que identifican cada uno de los datos, para posteriormente en base a ellos hacer predicciones de la nueva información que ingresa [52].
- Aprendizaje no supervisado: Son modelos que cuentan con determinados datos, pero no contienen ninguna etiqueta de identificación, por lo que éste mismo debe encontrar patrones entre ellos que le permita agruparlos de alguna manera [52].

### ***7.9 Árbol de decisiones.***

Es una técnica de aprendizaje supervisado de machine learning, que realiza sus predicciones por medio del aprendizaje de reglas de decisión basadas en las características entregadas por el modelo creado [54]. Esta técnica presenta la gran ventaja ya que por medio de esta es posible manejar una gran cantidad de variables de entrada, junto a sus relaciones no lineales.

En la figura 6, se puede observar que los arboles de decisión están compuestos por nodos de decisiones representados por cuadrados e indican que hay una decisión que se debe tomar, nodos de probabilidad representados por un círculo que contienen los resultados inciertos y ramas o alternativas que indican posibles resultados [55].

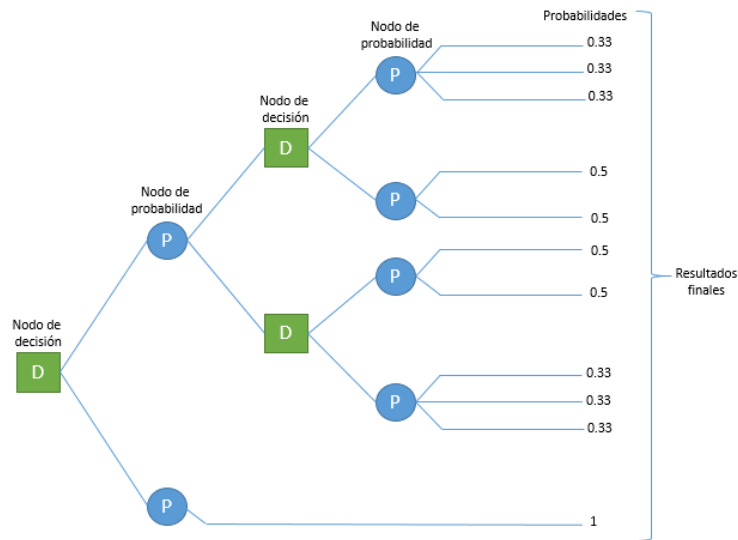


Figura 6. Estructura de un árbol de decisión.

### 7.10 Servidor HTTP Apache.

Es un programa que permite realizar peticiones HTTP de usuarios que desean acceder a un ordenador específico. Esto lo hace a través la dirección IP, accediendo a los navegadores instalados en el computador al que se desea acceder. Una de las ventajas que se presenta es que, por medio de este servidor web, es posible acceder a archivos almacenados en un ordenador y usarlos para diferentes propósitos, actuando como un intermediario entre el computador y los usuarios que pueden estar en otra parte [56] [57]. Uno de los retos que presenta este servidor es el de responder antes varias peticiones de diferentes usuarios al mismo tiempo, y procesar los diferentes archivos de lenguajes de programación de la misma manera [57].

### 7.11 Librería Volley.

Es una biblioteca desarrollada por Google para el envío de peticiones http por medio de los aplicativos móviles creados en Android studio, la cual permite realizar conexiones entre las aplicaciones creadas y ordenadores específicos [58].

Para hacer uso de esta biblioteca, es necesario tener clara la teoría de programación orientada a objetos y el uso de formatos JSON los cuales permiten la recepción y transmisión de información a través de la red [59].

Para hacer uso de esta biblioteca en Android studio, es necesario realizar su respectiva implementación en el gradle:app del proyecto con el código “implementation 'com.mcxiaoke.volley:library-aar:1.0.15'” y brindar los respectivos servicios de internet. Por otro lado, esta funciona por medio de las clases RequestQueue para gestionar los hilos que ejecutaran las respectivas tareas devolviendo los resultados de las mismas y Request la cual realiza la petición http a través de los métodos GET y POST [60].

### ***7.12 Escala de Fouré.***

Esta escala describe la evolución de la Sigatoka Negra, en donde se establece que esta enfermedad puede presentar los siguientes 6 estados [61]:

- Estado 1: Se aprecia el primer síntoma de la enfermedad por la presencia de puntos y pequeñas decoloraciones de color blanco-amarillento que solo se visualiza en el envés de la hoja y a contra luz. Estas pizcas presentan longitudes de 1mm.
- Estado 2: Se caracteriza por un alargamiento de las pizcas que se convierten en rayas y su color se torna café rojizo, con una longitud de 2 a 3mm.
- Estado 3: Se identifica por la presencia de estrías de aproximadamente 20mm, sin embargo, estas se vuelven visibles no solo en el envés sino también en el haz de la hoja.
- Estado 4: Se forman manchas elípticas de color marrón por el envés y negro por el haz.

- Estado 5: En este estado, la mancha es clorótica color marrón oscuro o negra en ambas caras de la hoja, rodeada de por un halo amarillo.
- Estado 6: Se alcanza cuando la mancha presenta en su centro un color gris con el borde marrón oscuro negro y un halo de color amarillo.

En la siguiente figura, se presenta un ejemplo de los estados 6 estados de evolución de la enfermedad de la Sigatoka Negra.

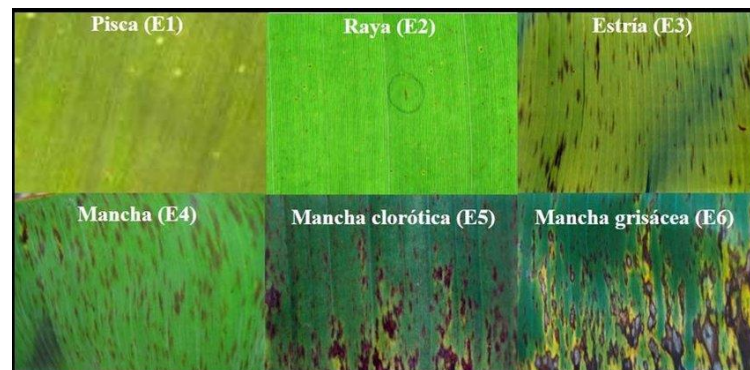


Figura 7. Escala de evolución de los síntomas de la Sigatoka Negra según Fouré (1985).

## 8. DESARROLLO.

Para el diseño este aplicativo, inicialmente se tuvo en cuenta un estudio realizado previamente en una tesis de maestría en el marco del proyecto “Sistema experto para la detección automática de la Sigatoka Negra producida por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* en los cultivos comerciales de plátano para la generación de alertas tempranas utilizando TICS” financiado por Colciencias con el código del proyecto 111077657454, en donde se implementó un algoritmo para la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra, el cual a través de imágenes, genera un resultado del estadio en el que se encuentran las hojas de la planta con respecto a esta enfermedad, permitiendo así tener una identificación temprana de las mismas y evitar sus graves consecuencias con respecto a la calidad de fruto.

La metodología utilizada para la detección de esta enfermedad, consistió en construir una base de datos que contiene imágenes de los posibles estados de la misma, teniendo en cuenta la escala estándar de Fouré utilizada para analizar la forma de evolución de la Sigatoka Negra. Luego se inició con la creación del algoritmo, en donde se realizó la segmentación de cada una de las imágenes para generar un realce en la enfermedad, para posteriormente obtener las características respectivas y finalmente a partir de las técnicas de machine learning generar una clasificación que identifique el estadio en el que se encuentra una hoja al tomar una imagen que no se ubique dentro de la base de datos.

A continuación, se presenta con más detalle la metodología implementada por la tesis de maestría para realizar el algoritmo de detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra y el funcionamiento aplicativo móvil, junto la integración de estos dos procesos.

### ***8.1 Metodología del algoritmo para la detección de la Sigatoka Negra.***

#### ***8.1.1 Base de datos.***

La base de datos creada para diseñar el algoritmo de detección de la Sigatoka Negra en las plantas del plátano en la tesis de maestría, fue construida en a partir de cinco fincas ubicadas

el departamento de Risaralda, Colombia, en donde se tomaron 600 muestras por cultivo teniendo en cuenta el abarcar todos los posibles estados de la enfermedad según la escala de evolución creada por Fouré la cual se muestra en la figura 7.

Posteriormente se implementó un proceso de etiquetado de las imágenes capturadas, en donde se tomó como base la escala de Fouré de la figura 7, para crear una nueva clasificación la cual se muestra a en la tabla 1, en la que se agruparon los diferentes estados de la evolución de la enfermedad, pasando de tener siete etiquetas a solo cuatro.

Clase	Cantidad de muestras	Escala según Fouré
Sana	338	Sin enfermedad
Baja	1028	1-2
Media	643	3-4
Alta	1067	5-6

Tabla 1. Etiquetas de la Base de Datos

En la figura 8, se muestra de manera gráfica la nueva clasificación de la enfermedad basada en la agrupación de estados de la evolución de la Sigatoka Negra de Fouré.

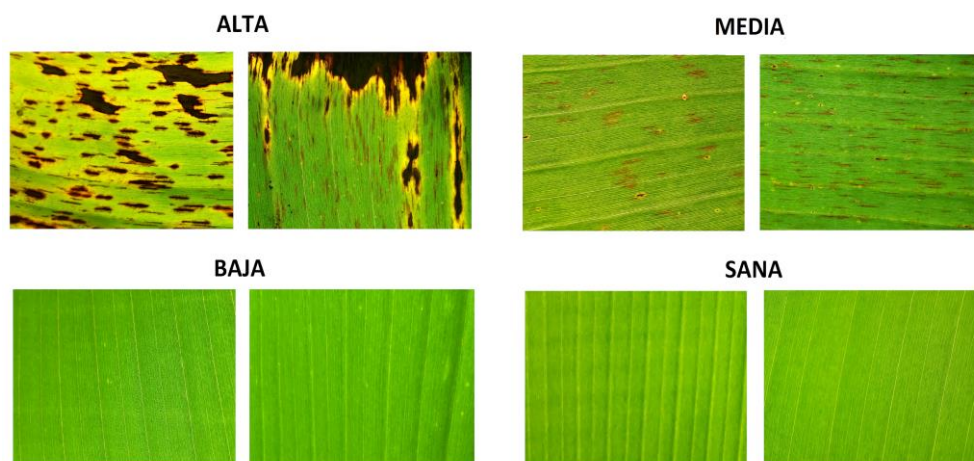


Figura 8. Ejemplos de la nueva clasificación.



### **8.1.2 Diseño del algoritmo**

#### **8.1.2.1 Segmentación de las imágenes.**

Con el fin de aumentar la separabilidad entre las severidades, se implementa un realce de la enfermedad en cada una de las imágenes de la base de datos, por lo que el primer paso de la segmentación consiste en aplicar un filtro gaussiano para suavizar la imagen. Después se realizó la transformación del modelo original de color RGB al espacio de representación HSV, ya que autores afirman que el espacio en donde se presenta una mayor separabilidad es el canal V. Posteriormente se ventanea la imagen en segmentos de 500x500 píxeles, realizando el cálculo de la media y la desviación estándar estableciendo un umbral en donde se diferencian los píxeles sanos de los enfermos, por lo que a estos últimos se les aplica una ganancia para saturar su valor. Por último, se integran de nuevo los demás canales de la imagen H y S, implementando nuevamente la transformación de la misma a sus colores primarios RGB. En la figura 9, se muestra de manera gráfica un ejemplo de los resultados obtenidos a partir de la segmentación de las imágenes, con el fin de resaltar la enfermedad en todas las imágenes capturadas para la base de datos.



Figura. 9. Segmentación implementada en las imágenes.

#### **8.1.2.2 Extracción de características.**

La extracción de características, comprende el estudio de diferentes descriptores con los cuales se pretende escoger aquellos que presentan una mejor eficiencia en cuanto a la clasificación de la severidad de la enfermedad. Finalmente, los estudios

realizados por los autores de la tesis recomiendan, utilizar los momentos estadísticos de la transformada discreta de wavelet (DWT) y la transformada rápida de Fourier (FFT), junto a los histogramas generados por cada uno de los canales HSV de la imagen segmentada con un número total de 15 bins, por lo que para implementar la transformada discreta de Wavelet y la transformada de Fourier, es necesario tomar la imagen segmentada con los píxeles de la enfermedad resaltada en el espacio de color RGB y transformarla en escala de grises, sin embargo, para hallar los histogramas no se hace uso de esta transformación, sino que se utilizó la imagen luego de su procesamiento.

Cabe resaltar que las características utilizadas en el trabajo de tesis, son las que representaron un menor tiempo de procesamiento y costo computacional, manteniendo siempre una eficiencia de más del 80% de fiabilidad.

#### ***8.1.2.3 Clasificación de la enfermedad.***

En esta etapa del algoritmo, se implementó en la tesis una técnica de aprendizaje de máquina, la cual es un árbol de decisiones, que presenta una estructura jerárquica, que permite determinar en qué estado de la enfermedad se encuentra una nueva imagen de una hoja de una planta, a partir de la extracción de sus características y la comparación de estas con las obtenidas a partir de la base de datos.

La jerarquía utilizada en este caso, es la presentada en la figura 10 en la cual la imagen nueva inicia con su clasificación entre la severidad alta del resto, por lo que, si resulta ser de este último caso, continua con su proceso identificando la etapa a la que pertenece ya sea la etiqueta media, baja o sana.

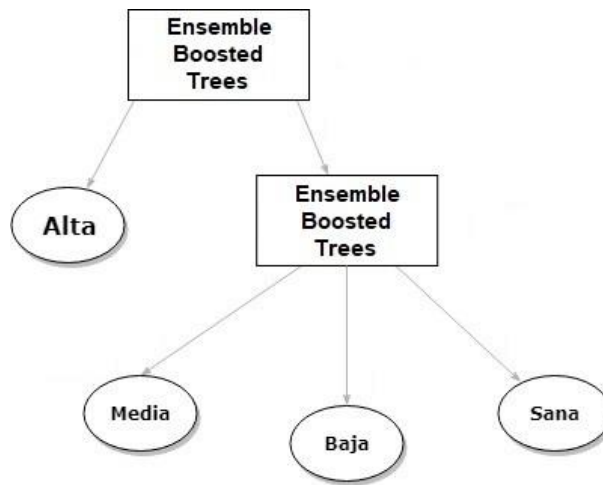


Figura 10. Estructura del árbol de decisión utilizado para determinar la clasificación de nuevos datos.

## 8.2 Funcionamiento del aplicativo móvil.

A partir del hecho de que existen diferentes sistemas operativos que permiten realizar estos desarrollos, cabe resaltar que el aplicativo móvil de este proyecto se implementó exclusivamente para celulares Android, puesto que esto presenta ventajas como el desarrollo de código sin restricciones, la libertad que le brinda al usuario de instalar la aplicación que desee y el gran índice de usuarios que este presenta, siendo el software más utilizado en todo el mundo [62] [63].

En la figura 11 se muestra la forma gráfica de cómo funciona el aplicativo móvil, en donde inicialmente por medio del celular se realiza la captura de las imágenes, ya sea a través de la cámara integrada del mismo o su galería y posteriormente se realiza la petición al servidor apache HTTP para comenzar el procesamiento de la imagen con el algoritmo implementado en un ordenador en específico, para obtener la severidad en la que se encuentra la enfermedad. Luego de que la imagen es procesada, el servidor hará el envío de los resultados entregados por el algoritmo, para que estos sean visualizados por el usuario en su celular, todo esto con el fin de implementar un control fotográfico del cultivo con respecto a la Sigatoka Negra.

Por otro lado, la aplicación también le da la opción al usuario de implementar un control a través de los datos de temperatura y humedad de los últimos ocho días a partir de la fecha en donde se realizará este mismo. En este caso, el celular hará una petición al servidor para obtener estos datos los cuales serán enviados directamente al celular para realizar su debido procesamiento y de esta manera generar las alertas correspondientes.

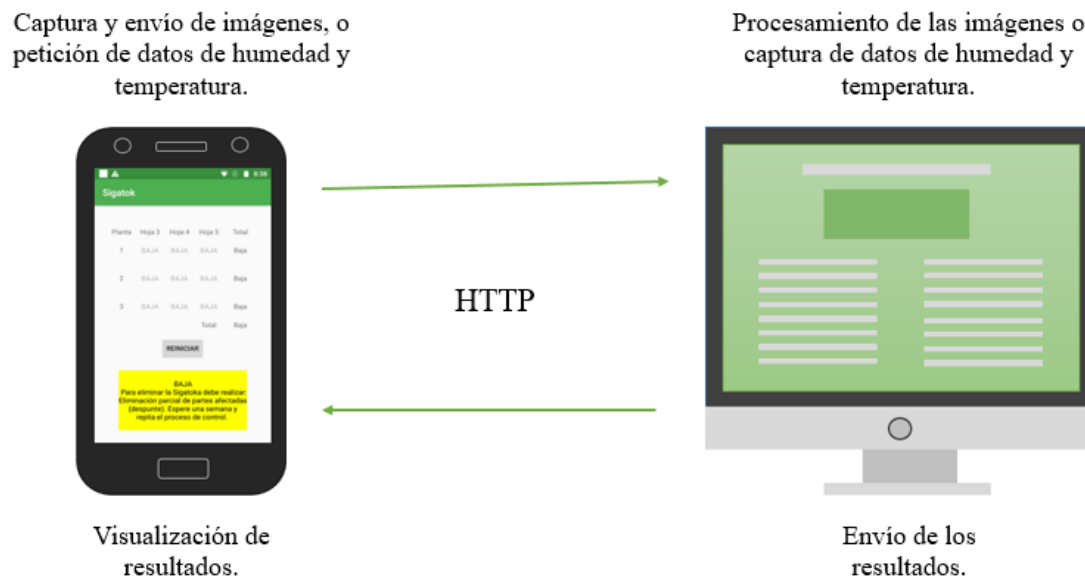


Figura 11. Diagrama funcional del aplicativo móvil.

A continuación, se presenta con mayor detalle el funcionamiento de la aplicación la cual se pensó de tal manera que tuviera una alta interactividad y fácil manejo para los agricultores.

Inicialmente al abrir la aplicación, el agricultor se encontrará con la ventana mostrada en la figura 12, en donde él puede elegir entre las opciones de realizar el control de la enfermedad por medio de un estudio fotográfico o a través de los datos de humedad y temperatura que se han presentado durante un periodo de ocho días.



Fig. 12. Ventana principal del aplicativo móvil en donde el usuario debe escoger que tipo de control desea realizar.

### 8.2.1 Control de la enfermedad de la Sigatoka Negra por medio de imágenes.

Cuando el agricultor desee realizar el control de la enfermedad por medio de imágenes, la aplicación lo llevará a la ventana presentada en la imagen 13, la cual contiene una tabla con la que se realizará el análisis y detección de la Sigatoka Negra en diferentes plantas de todo el cultivo, con el fin de entregarle al agricultor una respuesta en cuanto a la severidad en la que se encuentra la enfermedad en toda el área o si se encuentra libre de esta misma.



Fig. 13. Ventana del aplicativo móvil que realiza la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en cultivos de plátanos.



Fig. 14. Icono utilizado para realizar la captura o selección de las imágenes y posteriormente su procesamiento.

Para diligenciar la tabla de la figura 13 y realizar el estudio del cultivo, el agricultor inicialmente debe seleccionar de manera aleatoria varias plantas del mismo las cuales deben ser enumeradas, y posteriormente se inicia con el conteo de las hojas como se muestra en la figura 15, para iniciar con la captura o selección de las imágenes, dando clic en el icono de la cámara de la figura 14, lo que lleva al usuario a abrir la ventana mostrada en la figura 16 para obtener la imagen, es decir, escoger la planta número uno, se realiza el conteo de sus hojas desde la más alta a la más baja y de izquierda a derecha como se muestra en la figura 15, luego se inicia con la captura o selección de las imágenes de las hojas número tres, cuatro y cinco de la planta, dando clic en el icono mostrado en la figura 14 de su respectiva casilla, lo que hará que la aplicación lleve al usuario a la imagen mostrada en la figura 16 para realizar el envío de la imagen.



Figura 15. Conteo de las hojas de la planta de plátano para la captura de las imágenes de las hojas 3 4 y5 [64].

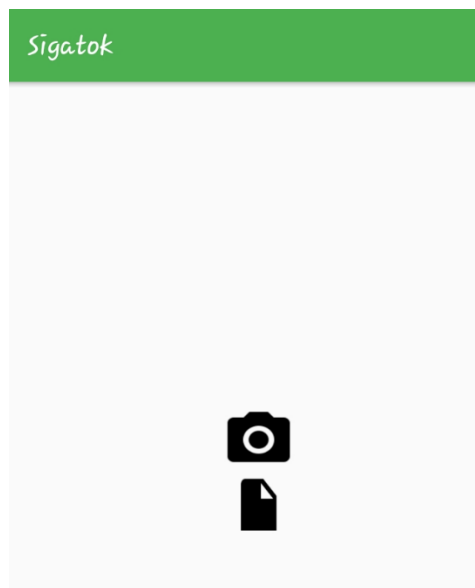


Figura 16. Ventana del aplicativo móvil para realizar la selección de la imagen de galería o la captura de imágenes por medio de la cámara integrada al celular.

La ventana utilizada para la obtención de las imágenes de las hojas de las plantas es la mostrada en la figura 16, y contiene los iconos de las figuras 17 y 18, con los cuales se puede seleccionar tanto imágenes desde la galería, como también se pueden capturar a través la cámara integrada al Smartphone, sin embargo, se debe tener en cuenta el orden de la tabla para agregar las imágenes para generar una buena predicción por parte del aplicativo móvil. Posteriormente, el aplicativo mostrará la ventana de la figura 19, en donde se muestra que el procesamiento de la imagen está en marcha.



Figura 17. Icono utilizado para realizar la captura de imágenes directamente de la cámara del celular.



Figura 18. Icono utilizado para agregar imágenes directamente de la galería del celular.



Figura 19. Ventana utilizada para realizar indicar que el procesamiento de la imagen está en marcha.



Figura 20. Cambios de la ventana de la figura 13 a partir de los resultados entregados por el algoritmo de detección.

Luego de que el procesamiento de la imagen haya finalizado, el aplicativo llevará al agricultor de nuevo a la ventana principal de la figura 20 en donde se encuentra la tabla, con la diferencia de que se realiza el cambio del icono del cámara seleccionado inicialmente, por el resultado obtenido a través del algoritmo. Por otro lado, la aplicación también emite un promedio entre los resultados que se vayan obteniendo tanto de las hojas de la planta, como de manera general del cultivo lanzando una alerta al usuario, dando recomendaciones sobre las acciones que el agricultor debería de implementar para mejorar



o mantener el estado de su cultivo. En caso de que el agricultor desee realizar de nuevo el estudio en otras plantas de su cultivo, simplemente debe dar clic en el botón reiniciar que se muestra en la figura 20, el cual hará que todos los iconos vuelvan a su estado inicial.

### 8.2.2 Control de la enfermedad de la Sigatoka Negra por medio de la humedad y temperatura.

Esta herramienta se implementó con el fin de generar alertas para el agricultor, en los casos en el que la temperatura y la humedad del sector en donde se encuentra el cultivo sean propicias para la proliferación y la expansión de la enfermedad de la Sigatoka Negra, por lo cual luego de que el agricultor da clic en esta opción, aparecerá una de las dos ventanas que se presenta en la figura 21 dependiendo de los resultados, junto a las gráficas de temperaturas y humedad respectivas.



Figura 21. Imágenes de las ventanas del Control de la enfermedad de la Sigatoka Negra por medio de la humedad y temperatura.

Los resultados obtenidos en este control y las alertas que se generan, se basan en los datos que se adquieren de las temperaturas y humedades presentadas en los últimos ocho días a partir del momento en el que se implementó el mismo, en donde se tiene en cuenta que a partir de temperaturas mayores a 24°C y humedades mayores al 70% incrementan las posibilidades de la proliferación y expansión de esta enfermedad. Por otro lado, también se les brinda a los agricultores la posibilidad de visualizar la información de las temperaturas y humedades del lugar, por medio de graficas que se pueden visualizar al hacer clic en los respectivos botones mostrados en la figura 21.

### 8.3 Diagramas de flujo del funcionamiento del aplicativo móvil.

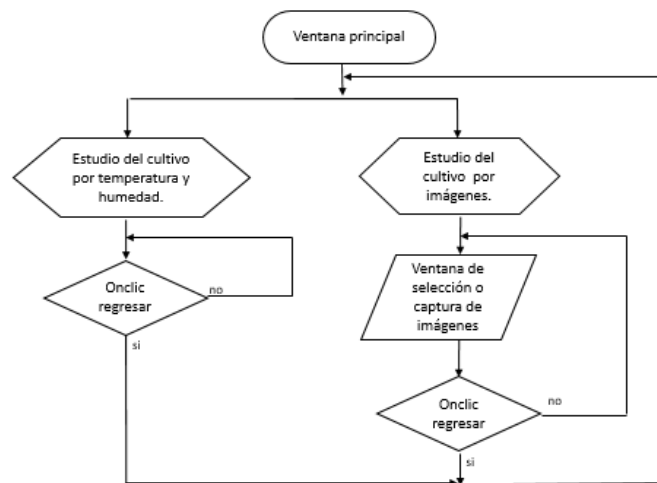


Figura 22. Diagrama de flujo general del aplicativo móvil.

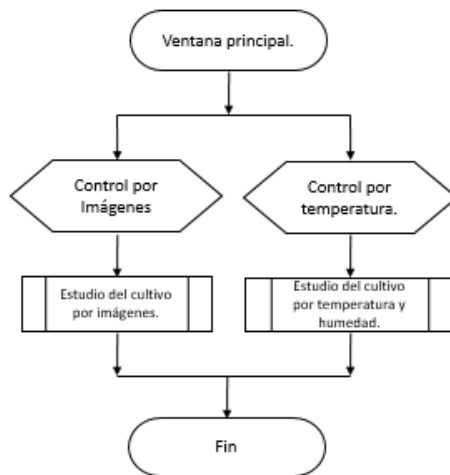


Figura 23. Diagrama de flujo de la ventana principal del aplicativo móvil.

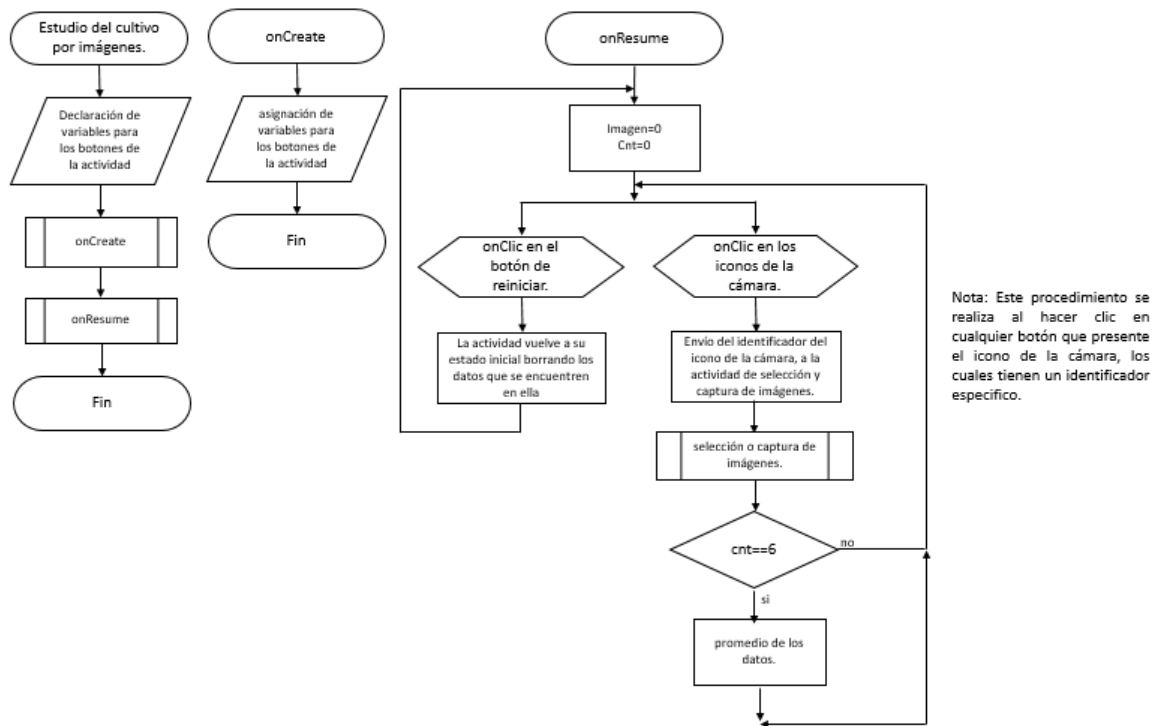


Figura 24. Diagramas de flujo de la ventana de estudio del cultivo por medio de imágenes del aplicativo móvil.

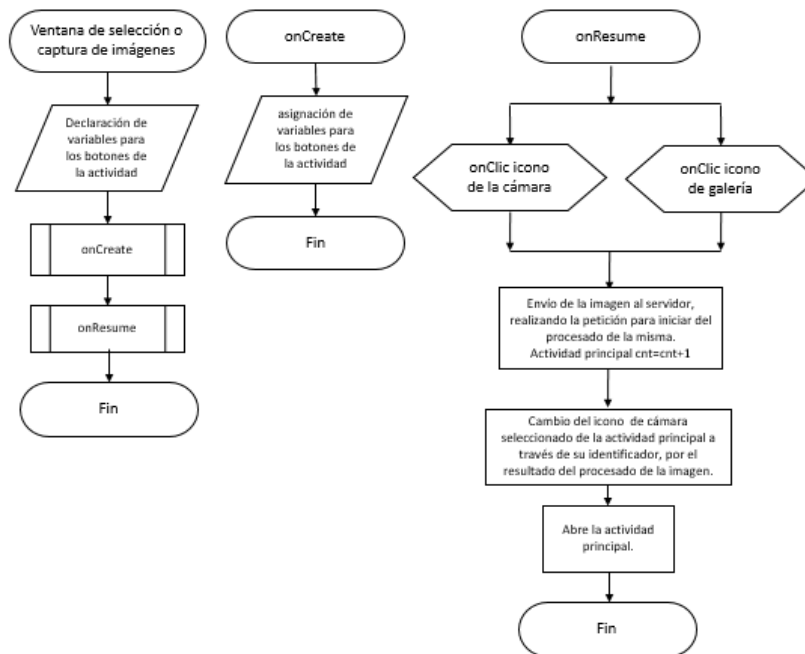


Figura 25. Diagramas de flujo de la ventana de captura o selección de las imágenes en el aplicativo móvil.

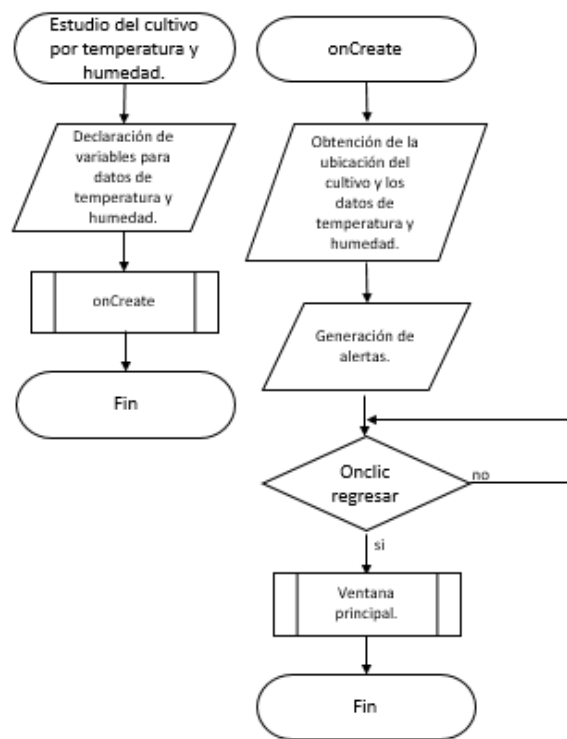


Figura 26. Diagramas de flujo de la ventana de estudio del cultivo por medio de la temperatura y humedad.

#### 8.4 Integración del algoritmo al aplicativo móvil.

El algoritmo escogido para realizar el procesamiento de la imagen y la interpretación de los patrones el cual se presentó anteriormente, con el fin generar la predicción del estado de la planta de plátano con respecto a la enfermedad de la Sigatoka Negra, presenta una eficiencia de más del 80%, por lo cual, genera una alta confiabilidad en los resultados obtenidos a partir del uso del mismo en el aplicativo móvil. A continuación, se presentan varias propuestas que se utilizaron para realizar la integración de este algoritmo en el aplicativo móvil.

1. Se implementó el algoritmo directamente en el aplicativo móvil en lenguajes de programación Java y C++, sin embargo, por la complejidad de este mismo y el alto costo computacional que se requería para realizar el procesado de las imágenes, los

celulares presentaban fallas como pantalla negra por un tiempo prolongado, teniendo que realizar un cierre forzado de la aplicación para reestablecer sus funciones normales.

2. Una de las herramientas utilizadas para implementar el aprendizaje automático es Tensorflow, la cual es una biblioteca de google que permite realizar el reconocimiento de objetos, patrones, gestos y la clasificación de imágenes, por medio de modelos entrenados. Algunas de las ventajas que presenta Tensorflow, es que la clasificación de imágenes es posible realizarla en tiempo real y no se requiere de internet [65] [66]. No obstante, no se tuvo éxito a la hora de implementar esta solución, puesto que no se obtuvo hasta el momento documentación completa de cómo utilizar dicha herramienta.

3. Otra de las soluciones propuestas para implementar el algoritmo, fue utilizar un servidor remoto instalado en un equipo específico y a través de una dirección IP transferir las imágenes entregadas por el usuario desde la aplicación a este mismo. Finalmente, a partir de esta solución se obtuvieron los resultados esperados en el funcionamiento del aplicativo móvil lo que implica que ésta es viable a la hora de diseñar apps que contendrán procesamientos que requieren un alto costo computacional.

Los servidores, son combinaciones de hardware y software capaz de atender peticiones que generan las personas y devolver una respuesta según se desee. Este se instala en un equipo o computador, al cual se puede acceder por medio de una dirección IP específica por medio de protocolos de información [67]. Es por esto que se implementó el uso de un servidor para enviar las imágenes tomadas por medio del aplicativo móvil, para que internamente al hacer la petición, el computador realice el procesamiento de la imagen devolviendo como respuesta el estadio en que se encuentra la hoja de la planta a la cual se le tomó la foto.

Para realizar la petición al servidor por medio del aplicativo móvil, es necesario hacer uso de la biblioteca Volley, la cual está desarrollada para realizar peticiones http desde sistemas operativos Android y permite poner en funcionamiento diferentes programas de forma remota [68]. En este caso, el aplicativo móvil al tener acceso al servidor por medio de la biblioteca anteriormente nombrada, realiza el procedimiento de ingresar remotamente a los navegadores del computador y pone en funcionamiento el programa Registroimg.PHP el cual realiza el almacenamiento de la imagen recibida con una identificación específica, e inicia con el procesado de la misma. Posteriormente, cuando se recibe un resultado final por parte del programa, este se envía para que sea visualizado a través del aplicativo móvil. A continuación, se muestran los diagramas de flujo del procedimiento del archivo Registroimg.PHP, junto al realizado por el aplicativo móvil.



Figura 27. Diagrama de flujo para realizar el almacenamiento y procesamiento de la imagen entregada por el aplicativo móvil a través del programa Registroimg.PHP que se encuentra en el servidor.

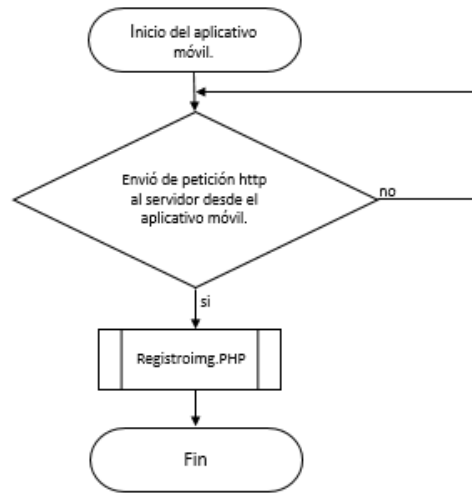


Figura 28. Diagrama de flujo de la ventana principal del aplicativo móvil para poner en funcionamiento del servidor.

## 9. ANALISIS Y RESULTADOS.

### 9.1 Encuestas

Para obtener los requerimientos de funcionalidad y usabilidad del aplicativo móvil se realizó una encuesta a 221 agricultores propietarios de cultivos de plátanos, en diferentes municipios de Risaralda como Apía, Balboa, Belén de Humbria, La Celia, Marsella, Mistrató, Pereira, Santa Rosa y santuario. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las encuestas en las figuras 31, 32 y 33.

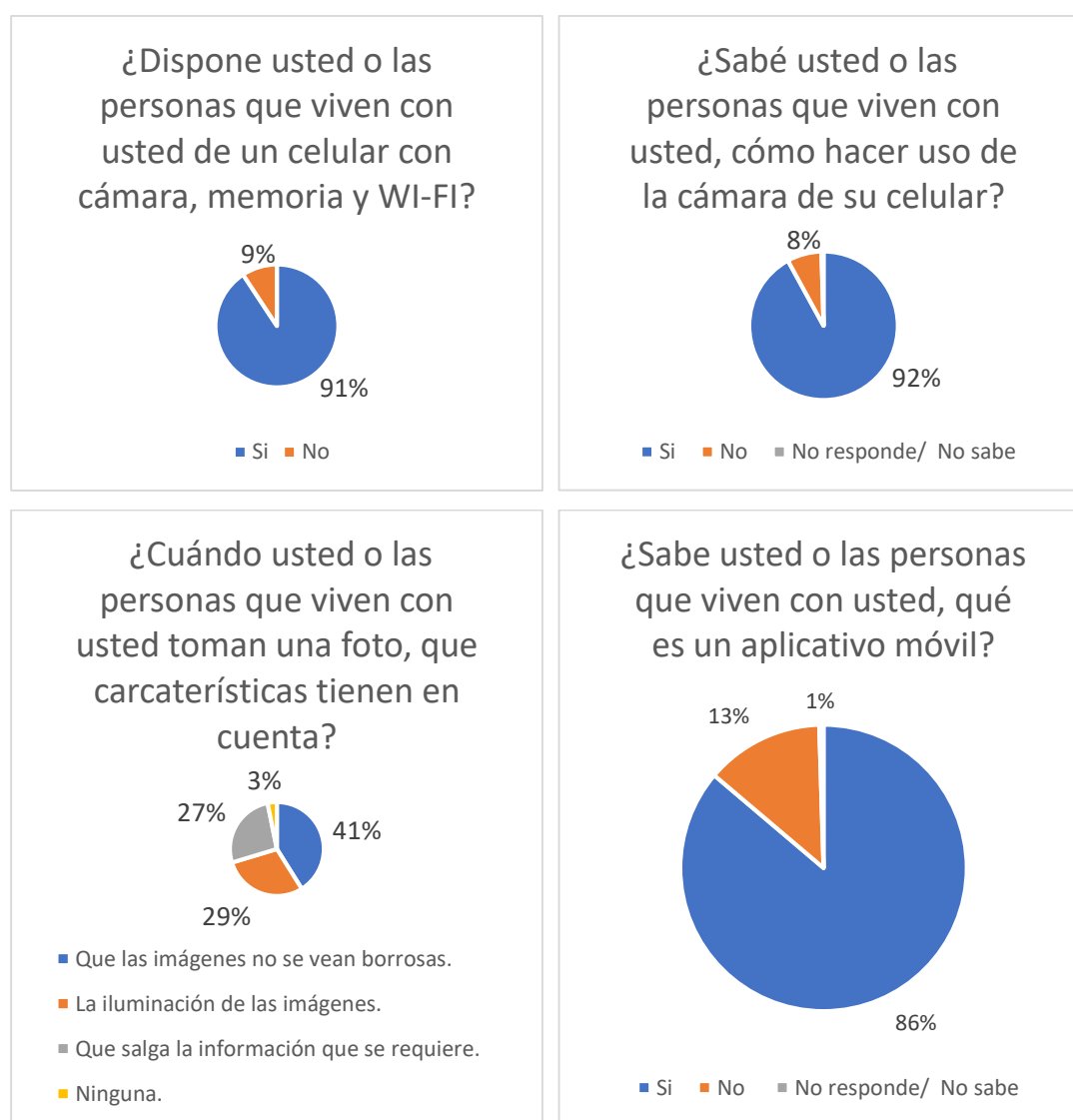


Figura 29. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores.



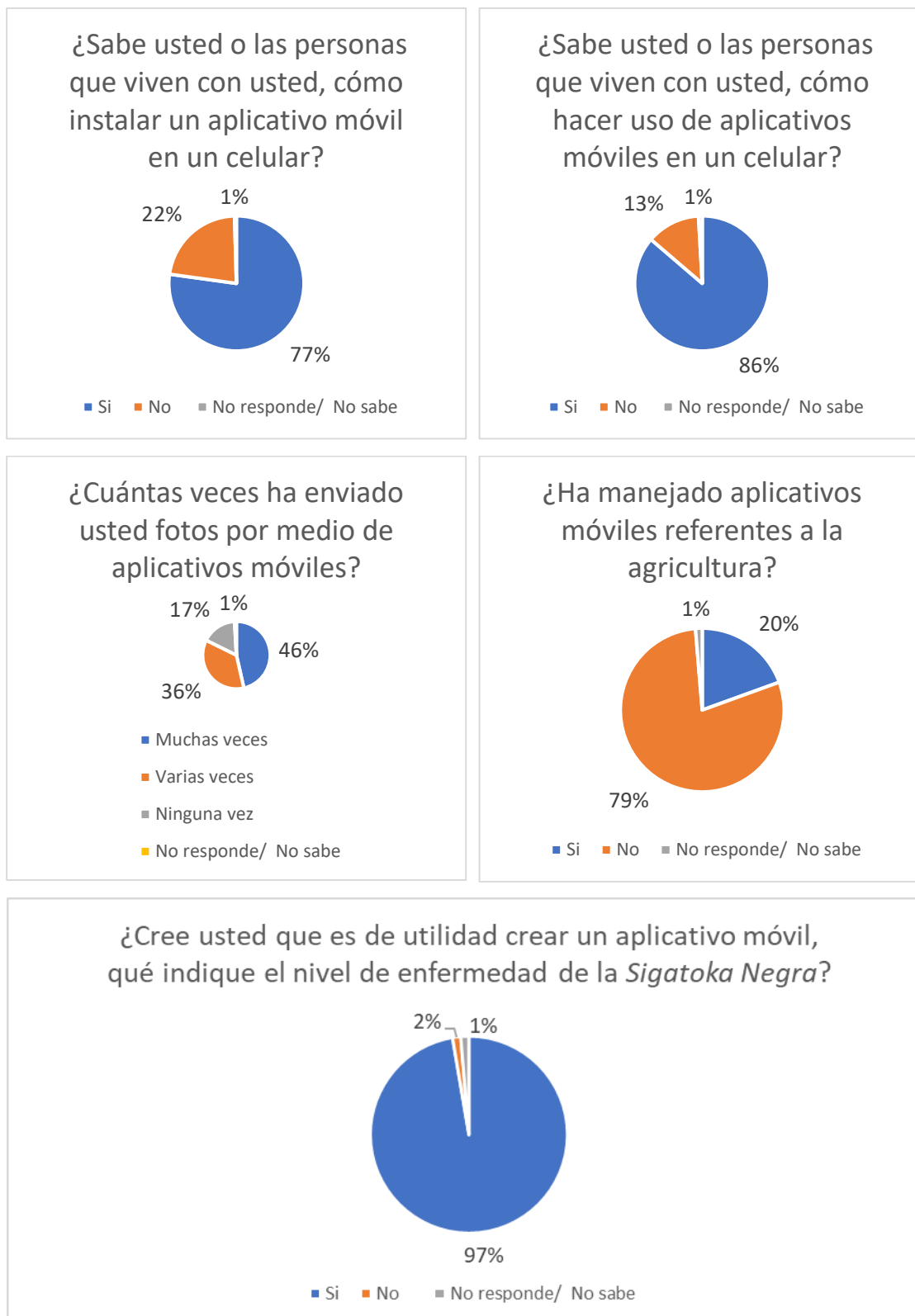


Figura 30. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores.

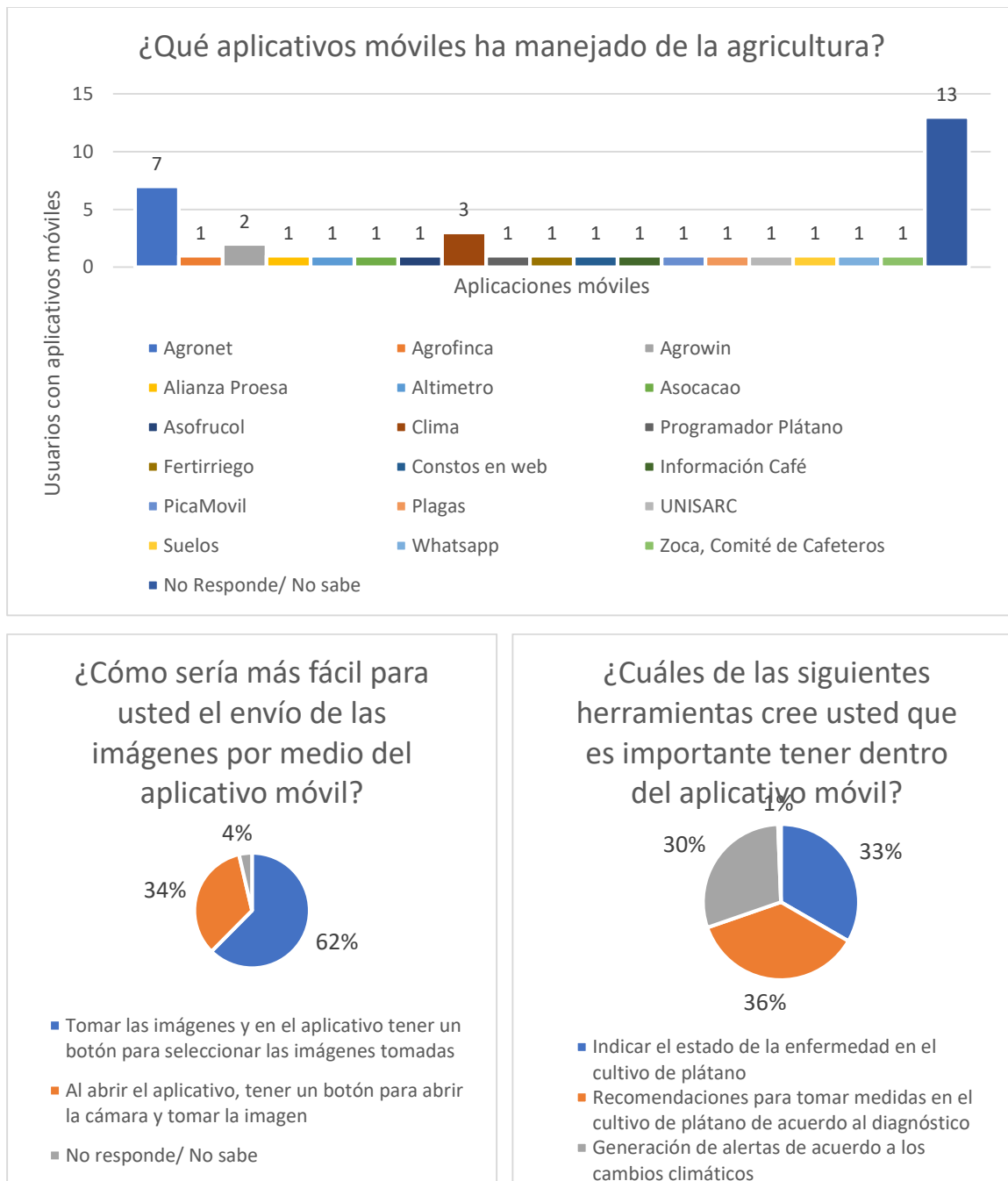


Figura 31. Respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas a los agricultores.

A partir de las encuestas realizadas y los resultados mostrados anteriormente, se puede identificar que la mayoría de los agricultores de Risaralda o algún miembro de su familia,

tienen acceso un celular con cámara memoria e internet y conocen que es un aplicativo móvil, saben instalarlo y actualmente hacen uso de algunos de ellos con el fin de mejorar sus cultivos y por lo tanto obtener mejores ganancias. Una de las ventajas que se tiene es que el 92% de ellos o sus familiares, también saben usar la cámara y la galería de su celular para enviar imágenes desde diferentes aplicaciones lo cual para el uso del aplicativo que se desea crear es indispensable.

Cabe resaltar que el 97% de los agricultores creen que es de utilidad crear un aplicativo móvil que detecte si su cultivo de plátanos presenta la enfermedad de la Sigatoka Negra, teniendo en cuenta el estado en el cual se encuentra la misma y tener junto a esto unas recomendaciones para tomar medidas de acuerdo al diagnóstico obtenido. Por otro lado, se debe tener en cuenta el hecho de que los agricultores que no saben hacer uso de estas aplicaciones desearían aprender a utilizarlas.

## ***9.2 Pruebas de validación del aplicativo móvil.***

### ***9.2.1 Pruebas en diferentes celulares.***

Para realizar las pruebas de funcionalidad del aplicativo móvil se utilizaron celulares de diferentes marcas y versiones de sistemas operativos Android los cuales se muestran en la tabla 2, en donde se verificó que la aplicación funciona correctamente en cualquier celular que presente una versión de Android mayor a 6.0.

Cabe resaltar que dichas pruebas se realizaron en distintos municipios de Risaralda, como Balboa, La Celia, Pereira, Marsella, entre otros, lo que garantiza que la aplicación funciona correctamente sin importar el lugar en donde se desee utilizar.

El protocolo utilizado para realizar estas pruebas, fue la de instalar la aplicación en cada uno de los celulares y realizar el envío de imágenes reportando si todas obtuvieron respuestas exitosas, teniendo en cuenta que el envío de las fotos se realizara en el mismo

instante de tiempo, con el fin de validar si el aplicativo funciona correctamente si se realizan varias peticiones al servidor a la vez.

N°	Referencia del celular.	Versión de Android
1	Moto G play 4	7.1.1
2	Huawei mate 20 lite	9.0.0
3	Moto G 5s plus	8.0.1
4	Huawei mate 10 pro	9.0.0
5	Samsung Galaxy J5 prime	8.0.0
6	Samsung Galaxy J7 metal	8.1.0
7	Xiaomi redmi note 7	9.0.0
8	LG K10 (LG-M250)	7.0.0
9	Huawei p20 lite	9.0.0
11	Samsung Galaxy s9 plus	9.0.0
12	Huawei p8 lite	7.0.0
13	Huawei Y9	9.0.0
14	Moto G 5	8.1.0

Tabla 2. Lista de celulares utilizado para relaizar pruebas de funcionalidad del aplicativo movil.

Los resultados de aciertos de esta prueba de validación son de un 96%, dado de que en todos los celulares se obtuvieron las respuestas correspondientes sin importar el lugar en donde se realizaran las peticiones, ni el celular utilizado. Por otro lado, las fallas encontradas que representan el 4% de estas pruebas, corresponden a fallas que se presentan con respecto a las conexiones a internet que no permiten que las imágenes lleguen correctamente a la base de datos para realizar su procesamiento, por lo cual, el aplicativo le indica al usuario cuando no se tiene una buena conexión a este servicio.

### 9.2.2 Pruebas en diferentes redes.

Otra de las pruebas realizadas al aplicativo móvil, corresponde a su funcionalidad con respecto a redes WIFI, 3G y 4G, dado que a través de estas se obtiene la conexión a internet requerida para generar el enlace entre la aplicación y el servidor.

Para validar la conexión se realizó el envío de cien fotos por cada caso teniendo en cuenta las peticiones exitosas, adicional se captura el tiempo que tarda el aplicativo en entregar estas mismas a partir del momento en el que se realiza el envío de la imagen al servidor.

Los resultados obtenidos en esta prueba de validación arrojaron que a través de la red WIFI se obtuvo un 99% de aciertos y solo un 1% de error que correspondió a un problema en la conexión con el internet, teniendo un tiempo de espera de  $12 \pm 5$ s, por otro lado, la red 3G presentó mayores errores con un 4% y un 96% de aciertos con un tiempo de espera de  $20 \pm 7$ s, y finalmente, la red 4G no presentó error alguno en las pruebas realizadas dando un acierto del 100%, sin embargo de todas las redes, esta fue la que mayor tiempo de espera presentó con  $26 \pm 8$ s. A continuación, en la tabla 3, se muestra con más detalles los resultados obtenidos de manera general de esta prueba, sin embargo, en el anexo 1 se presentan los tiempos individuales de cada uno de los casos.

Red	Promedio de tiempos (s)
WIFI	$12.18 \pm 1.73$
3G	$19.97 \pm 7.70$
4G	$25.57 \pm 8.46$

Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de la prueba realizada con diferentes redes.

### 9.3 Pruebas de validación del algoritmo.

Para realizar las pruebas de validación del algoritmo presentado en la tesis de maestría del proyecto de Colciencias explicado en el ítem de desarrollo, se utilizó un protocolo en el cual se capturaron 91 imágenes en campo de hojas de las plantas de plántanos, que luego fueron enviados al servidor para su respectivo procesamiento. Posteriormente se realizó una comparación entre las etiquetas obtenidas a través de la aplicación y las etiquetas generadas a partir de un criterio experto en donde se realizó una matriz confusión mostrada en la tabla 4, la cual permite realizar un análisis completo del desempeño y fiabilidad del algoritmo en el aplicativo. Es preciso aclarar que, las imágenes utilizadas en esta prueba son diferentes a las utilizadas en la base de datos utilizada para el diseño y análisis del algoritmo.

	Alta	Media	Baja	Sana
Alta	16	5	0	0
Media	0	21	4	1
Baja	0	1	26	3
Sana	0	0	3	10

Tabla 4. Matriz de confusión con las etiquetas generadas por cada una de las imágenes.

En la matriz de confusión de la tabla 4, se pueden observar los resultados obtenidos en la prueba de validación, en donde su diagonal representa las imágenes que fueron correctamente clasificadas por el aplicativo móvil, esto se debe a que esta matriz está compuesta por dos tipos de etiquetas, en las cuales columnas hacen referencia a las clasificaciones realizadas por el aplicativo, y las filas su clasificación real.

A partir del análisis de realizado de la tabla 4, se puede determinar que el aplicativo tiene una fiabilidad del 80% al clasificar correctamente 73 imágenes de las 91 utilizadas para esta prueba.

## **10. CONCLUSIONES.**

- El aplicativo desarrollado muestra resultados positivos al ser utilizado en celulares de diferentes de diferentes gamas y fabricantes, demostrando ser una aplicación que no se ve afectada en su uso para cualquier referencia de Smartphone, teniendo en cuenta las distintas versiones de sistemas operativos Android que se pueden encontrar en el mercado a partir de la 5.0.
- Una vez realizadas las pruebas de validación al aplicativo móvil respecto a su uso en las diferentes redes de datos (WIFI 3G o 4G), se pudo demostrar que es estable independientemente de la red utilizada, teniendo una fiabilidad mayor de 95% en todas las consultas realizadas.
- A la aplicación implementada se le desarrollaron algoritmos que permitieran el uso correcto de la misma, sin que esta se cerrara por posibles errores de conexión o de manejo por parte de la persona que la utiliza. Adicional si ocurre algún problema, el usuario es informado a través de mensajes en pantalla, del por qué se produjo la falla, todo esto con el fin de tener un aplicativo completamente funcional.
- Los algoritmos de aprendizaje de máquina y visión por computador son costosos computacionalmente, por lo tanto, son difíciles de implementar directamente en dispositivos con reducidas capacidades de computo como lo son los celulares, es por esto que la conexión cliente servidor garantiza mejores resultados respecto a la usabilidad del dispositivo.
- El aplicativo móvil, demostró un porcentaje de acierto del 80% en la detección de la Sigatoka Negra a través de la metodología propuesta en la tesis de maestría, por lo tanto, la aplicación puede llegar a ayudar a los productores de plátano, evitando así pérdidas económicas.

- En las visitas de campo, se pudo observar la aceptación del aplicativo móvil puesto que los agricultores tienen un pensamiento positivo frente a la tecnología, expresando la necesidad de la misma para mejorar los estados de sus cultivos y de esta manera disminuir las pérdidas económicas que se les puede presentar. Por otro lado, también manifestaron el gusto por la aplicación, dado que les resultó fácil su manejo a la hora de realizar las pruebas del estado en el que se encuentra la Sigatoka Negra en algunas de las plantas de plátano de sus cultivos.
- Debido a que los cultivos de plátanos se encuentran en zonas rurales, no se tiene una buena conexión a internet, lo que dificulta el uso del aplicativo en campo. Sin embargo, se puede realizar la captura y guardado de las imágenes de las plantas, para posteriormente cuando se tenga acceso a alguna de las diferentes redes disponibles en Colombia, realizar el procesamiento de las fotos.



## **11. TRABAJOS FUTUROS.**

- Implementar un aplicativo móvil que permita la detección de la enfermedad de la Sigatoka Negra en tiempo real y sin conexión a internet, ya que esto haría que el agricultor tenga una mayor facilidad para realizar el estudio de su cultivo.
- Dado que en este documento se presenta una solución para lograr implementar algoritmos con alta complejidad y costo computacional, se puede llegar a implementar otros aplicativos móviles que permitan la detección de otras enfermedades que afectan en gran medida los cultivos de los agricultores como por ejemplo el hongo roya en cultivos de café.
- Implementar un aplicativo móvil con herramientas como Tensorflow los cuales no solo permitiría que el agricultor pueda detectar la enfermedad en tiempo real, sino también, poder hacerlo sin la necesidad de tener acceso a internet.
- Desarrollar esta misma aplicación, agregando la implementación de una base de datos que no solo le entregue un resultado al agricultor, sino que también guarde la información y cree un historial, con el fin hacer comparaciones entre los estados que ha tenido el cultivo frente a esta problemática.

## 12. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Cristian Camilo Aguirre. Herramientas TIC para el crecimiento del agro. La patria [en línea], 7 junio 2015 [revisado julio 2018]. Disponible en internet: <http://www.lapatria.com/campo/herramientas-tic-para-el-crecimiento-del-agro-198191>
- [2] EL TIEMPO. Vichada encabeza lista de departamentos con más tierra productiva. EL TIEMPO [en línea], 25 de marzo de 2016 [revisado agosto de 2019]. Disponible en internet: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16545973>
- [3] Karina Porras Niño. Periodista y Lina María Serna. Este es el panorama del cultivo de plátano en Colombia. El campesino.co [en línea], 5 de junio de 2019 [revisado agosto de 2019]. Disponible en internet <https://www.elcampesino.co/este-es-el-panorama-del-cultivo-de-platano-en-colombia/>
- [4] Mauricio Guzmán Quesada, Roxana Paladines García. Sigatoka Negra (*Mycosphaerella Fijensis*). CropLife Latin American [en línea], julio 2017 [revisado julio 2018]. Disponible en internet: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/sigatoka-negra>
- [5] Adrián González, Gelberth Amarillo, Milton Amarillo, Francisco Sarmiento. Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. Revista especializada en ingeniería Universidad Nacional Abierta y a distancia [en línea], 2016 [revisado 9 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585/1930>
- [6] Naiqian Zhang, Maohua Wang, Ning Wang. Precision agriculture—a worldwide overview. Elsevier [en línea], noviembre de 2002 [revisado 9 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169902000960>
- [7] Zhao Chunjiang, Xue Xuzhang, Wang Xiu, Chen Liping, Pan Yuchun, Meng Zhijun. Advance and prospects of precision agriculture technology system. cnki.com.cn [en línea] 2004 [revisado 9 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-NYGU200304001.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYGU200304001.htm)
- [8] Luis Ruiz-Garcia, Loredana Lunadei, Pilar Barreiro y Ignacio Robla. A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. 2009 [revisado 10 agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/6/4728/htm>

- [9] Emiliano Garcia y Fernando Flego. Agricultura de precisión. Universidad de Palermo [en línea], 30 de julio de 2013 [9 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- [10] Liu Aimin y Feng Zhiming. The Modern Precision Agriculture and Technological System. En.cnki.com.cn [en línea], febrero 200 [revisado 13 de agosto de 2018]. Disponible en: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-NYDX200002005.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYDX200002005.htm)
- [11] Ramesh Kumar Sahni. Precision agricultura Technologies. Biotech Articles [en línea], abril de 2018 [revisado el 5 agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.biotecharticles.com/Agriculture-Article/Precision-Agriculture-Technologies-4383.html>
- [12] ERP Agrícola. 10 Fantásticas Aplicaciones para el Campo. Software ERP Agrícola [en línea], 7 noviembre de 2016 [revisado 5 agosto de 2018]. Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/aplicaciones-para-el-campo/>
- [13] Fernando Ramos Gourcy. Una lista de la gama de las aplicaciones móviles (“apps”) para la agricultura. hortalizas.com [en línea], 17 de febrero de 2017 [revisado el 5 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/61807/>
- [14] Elizabeth Álvarez, Ph.D., Fitopatóloga. La Sigatoka Negra en plátano y banano. fao.org [en línea], julio de 2013 [revisado el 10 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as089s/as089s.pdf>
- [15] Luis Cifuentes. Elementos tecnológicos realmente útiles para el uso diario en nuestra vida cotidiana. Estrella digital [en línea], 20 de febrero de 2017 [revisado el 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.estrelladigital.es/articulo/ciencia-y-tecnologia/elementos-tecnologicos-realmente-utiles-uso-diario-nuestra-vida-cotidiana/20170220150255313478.html>
- [16] Fernando Ramos Gourcy. Una lista de la gama de las aplicaciones móviles (“apps”) para la agricultura. Productores de hortalizas 25 años [en línea], 14 de febrero de 2017 [revisado el 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/61807/>

- [17] Agronet. Aplicativos móviles. Ministerio de agricultura y desarrollo rural de Colombia [en línea], 26 de diciembre de 2018 [revisado el 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.agronet.gov.co/Paginas/Aplicaciones-M%C3%B3viles.aspx>
- [18] Agricultura. 5 apps de agricultura que no deben faltar en tu móvil. Aviporto [en línea], 26 de agosto de 2016 [revisado el 31 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://aviporto.com/blog/2016/08/26/5-app-de-agricultura-que-no-deben-faltar-en-tu-movil/>
- [19] Equipo integrado por María del Pilar Ruiz Molina y María Alejandra Urueña del Valle. Situación actual y perspectivas del mercado del plátano. USAID del pueblo de los estados unidos, programa MIDAS [en línea], octubre de 2009 [revisado el 27 de marzo de 2019]. Disponible en: [https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Mercado\\_Situacion\\_Actual\\_y\\_Perspectivas\\_PLATANO\\_2.pdf](https://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/Mercado_Situacion_Actual_y_Perspectivas_PLATANO_2.pdf)
- [20] Minagricultura. Cadena de plátano. Ministerio de agricultura y desarrollo rural de Colombia [en línea], febrero de 2018 [revisado el 27 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/Cifras%20Sectoriales%20-%202018%20Febrero%20Platano.pdf>
- [21] José Hernández Jiménez. Alistamiento de la oferta productiva para la exportación de plátano en los departamentos de Quindío, Caldas Risaralda y Valle del Cauca. Asohufrucol. Asociación hortofrutícola de Colombia [en línea], 20 de septiembre de 2012 [revisado el 27 de marzo de 2019]. Disponible en: [http://www.asohufrucol.com.co/archivos/Banco\\_de\\_Proyectos/EJECUCION\\_2018/FEDEPLACOL.pdf](http://www.asohufrucol.com.co/archivos/Banco_de_Proyectos/EJECUCION_2018/FEDEPLACOL.pdf)
- [22] Chelston W. D. Brathwaite y carlos Sosa-moss. Introducción al diagnóstico de enfermedades de las plantas. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura, Agencia de cooperación técnica de México [en línea], 1995 [revisado el 27 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8818e/A8818e.pdf>
- [23]. Aplicativo móvil. Wikipedia.com, [en línea] 27 agosto 2018 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n\\_m%C3%B3vil](https://es.wikipedia.org/wiki/Aplicaci%C3%B3n_m%C3%B3vil)

- [24] Toda la gama de aplicativos móviles. Agriculters, red de especialistas agricultores, [en línea] 9 de febrero de 2017 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://agriculturers.com/toda-la-gama-de-las-aplicaciones-moviles-apps-para-la-agricultura/>
- [25] Ag PhD Field Guide App. Farms.com, [en línea] Copyright © 1995-2018 Farms.com, Ltd. All Rights Reserved. [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.farms.com/agriculture-apps/pest/ag-phd-field-guide-app>
- [26] Agricultural products buy and sell. Agrotipos SA, [en línea] 2018 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.totheshelf.com/index.html>
- [27] ¿ANDROID FUNCIONA MEJOR QUE IOS O VICEVERSA? Rincón de la tecnología [en línea] 2018 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://rincondelatecnologia.com/android-funciona-mejor-ios-viceversa/>
- [28] iOS vs. Android: ¿Cuál elegir para tu app? Rahul Varshneya. Entrepreneur [en línea] julio de 2013 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://www.entrepreneur.com/article/266137>
- [29] Mobile-D: an agile approach for mobile application development. Antti Hanhineva, Tuomas Ihme, Juha Koskela, [en línea] octubre de 2004 [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=1028736>
- [30] Emiliano Garcia y Fernando Flego, Agricultura de precisión. Tecnología agropecuaria, [en línea] [Revisado el 27 de agosto de 2018.] Disponible en: <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>
- [31] Inteligencia artificial ya puede detectar enfermedades de plantas. Digital trends, [en línea] [revisado el 27 de agosto de 2018]. Disponible en: <https://es.digitaltrends.com/noticias/enfermedades-plantas-app/>
- [32] Redacción tecnología. Aplicaciones móviles, una herramienta para solucionar problemas, [en línea] 31 de mayo de 2019. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/tecnologia/aplicaciones-moviles-una-herramienta-para-solucionar-problemas-articulo-863295>
- [33] UDEMY. Iniciación a computer vision con machine/deep learning en R. [en línea] © 2019 Udemy, Inc. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.udemy.com/iniciacion-a-computer-vision-con-machine-deep-learning-en-r/>

- [34] Jason Brownie. A Gentle Introduction to Computer Vision. Deep learnign for computer visión. [en línea] 19 de marzo de 2019. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://machinelearningmastery.com/what-is-computer-vision/>
- [35] Giovani Gomez. Vision computacional. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Libros/vision-sucar-gomez.pdf>
- [36] Introducción VCO. Introducción al proceso digital de imagen y visión por computador. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/ccwgrrom/transparencias/pdf-vision-1-transparencias/capitulo-0.pdf>
- [37] Ingrid Calvo Ivanovic. Modelo RGB [en línea] © 2017 Udemy, Inc. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.proyectacolor.cl/aplicacion-del-color/modelos-de-color/modelo-rgb/>
- [38] Sara lasso. Escala de grises o valor. [en línea] 14 de febrero de 2018. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.aboutespanol.com/escala-de-grises-o-valor-180095>
- [39]Math Works, Matlab. Rbg2gray. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html>
- [40] Tutorialspoint Simplyeasylearning. Conversión de escala de grises a RGB. [en línea] © 2019. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: [https://www.tutorialspoint.com/dip/grayscale\\_to\\_rgb\\_conversion](https://www.tutorialspoint.com/dip/grayscale_to_rgb_conversion)
- [41] Wikipedia la enciclopedia libre. Modelo de color HSV. [en línea] 31 de mayo de 2019. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_de\\_color\\_HSV](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_de_color_HSV)
- [42 ] RapidTables. Conversión de color RGB a HSV. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.rapidtables.com/convert/color/rgb-to-hsv.html>
- [43] Montenegro Bermúdez Andrés Felipe, Parada Rojas Cristian David [en línea] 2015 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/3202>
- [44]Andrés Barragan P. y Dayana Guzman S. Transformada discreta de fourieren imágenes. [en línea] 20 de diciembre de 2016 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/dayanaguzman2/transformada-discreta-de-fourier-en-imagenes>

- [45] Luis Angel Ruiz Fernandez. La transformada de Fourier. Aplicación al filtrado de imágenes. [en línea] 2018. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68301/Ruiz%20-%20La%20transformada%20de%20Fourier.%20Aplicaci%C3%B3n%20al%20filtrado%20de%20im%C3%A1genes.pdf?sequence=1>
- [46] Ricardo J. Colom, Rafael Gadea, Ángel Sebastián, Marcos Martínez, Vicente Herrero, Vicente Arnau. Transformada Discreta Wavelet 2-D para procesamiento de video en tiempo real. [en línea] [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/4400/18dca6503d392444258e33b83ed8db3cc6f4.pdf>
- [47] Pablo Roncagiolo B. Procesamiento digital de imágenes. [en línea] 2018. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: [http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI15\\_Compresion\\_1dpp.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI15_Compresion_1dpp.pdf)
- [48] Aiteco consultores SL. Histograma-Herramientas de calidad. [en línea] © 2019. [Revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.aiteco.com/histograma/>
- [49] Victoria Bembibre. Definición de histograma. [en línea] Febrero de 2009. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.definicionabc.com/tecnologia/histograma.php>
- [50] Universo de fórmulas. Histograma. [en línea] © 2019 Universo de formulas. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/histograma/>
- [51] Ricardo Moya. ¿Qué es el machine learning? [en línea] 30 de enero de 2016 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://jarroba.com/que-es-el-machine-learning/>
- [52] Iberola S.A. Descubre los principales beneficios del 'Machine Learning'. [en línea] © 2019 Iberola. S.A. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/machine-learning-aprendizaje-automatico>
- [53] Ligdi Gonzales. Aprende todo sobre inteligencia artificial. [en línea] marzo de 2019. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Árboles de decisión regresión- Teoría. Disponible en: <http://ligdigonzalez.com/arboles-de-decision-regresion-teoria-machine-learning/>
- [54] Jose Martinez Eras. Árboles de Decisión con ejemplos en Python. [en línea] 7 de mayo de 2019 Udemy, Inc. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://iartificial.net/arboles-de-decision-con-ejemplos-en-python/>

- [56] Gustavo B. ¿Qué es Apache? Descripción completa del servidor web Apache. [en línea] Julio 16 de 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.hostinger.co/tutoriales/que-es-apache/>
- [57] norfipc.com. Como instalar y configurar el servidor web Apache en Windows. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://norfipc.com/internet/instalar-servidor-apache.html>
- [58] Gianluca Segato. Una introducción a Volley [en línea] 13 de mayo de 2015 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://code.tutsplus.com/es/tutorials/an-introduction-to-volley--cms-23800>
- [59] Enesimuscon, mdnwebdocs-bot. Trabajando con JSON. [en línea] 13 de marzo 2019. [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>
- [60] Android developers. Resumen de Volley. [en línea] © 2019 [revisado el 11 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://developer.android.com/training/volley>
- [61] Helena del Rosario Bornacelly Borta. Estudio del ciclo de vida de mycosphaerella fijiensis en tres clones de banano (musa aaa) en tres regiones de la zona bananera del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia [en línea] © 2018 [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/716/1/8006001.2009.pdf>
- [62] Andrés Gonzales. Big data y machine learning aplicado a la empresa. [en línea] © 2009 [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.staffcreativa.pe/blog/android-ventajas-desventajas/>
- [63] Elkin Hamburger. 8 ventajas de usar Android. [en línea] 15 de julio de 2013. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://socialgeek.co/moviles/las-ventajas-de-usar-android/>
- [38] Gonzalo Betancourt. La “Sigatoka Negra” del banano y el platano. [en línea] [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: [http://www.infoagro.net/sites/default/files/migrated\\_documents/attachment/4Sigatoka\\_negra.pdf](http://www.infoagro.net/sites/default/files/migrated_documents/attachment/4Sigatoka_negra.pdf)
- [64] TensorFlow. TensorFlow Lite example apps [en línea] © 2019. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.tensorflow.org/lite/examples/>



- [65] TensorFlow Gardener. Aplicación de ejemplo de Android de clasificación de imágenes TensorFlow Lite. [en línea] © 2019. [revisado el 9 de agosto de 2019]. Disponible en: [https://github.com/tensorflow/examples/blob/master/lite/examples/image\\_classification/android/README.md](https://github.com/tensorflow/examples/blob/master/lite/examples/image_classification/android/README.md)
- [66] Antonio Calderón ¿Qué es un servidor remoto? [en línea] . [revisado el 9 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.tiendasvirtualesycomercioweb.com/ique-es-un-servidor-remoto>
- [67] Alif. Tutorial de Android Volley - Hacer HTTP GET, POST, PUT. [en línea] julio de 2013. [revisado el 7 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.itsalif.info/content/android-volley-tutorial-http-get-post-put>
- [68] Xenia Mena-Espino y Yeni Couoh-Uicab. Efectos de los plaguicidas utilizados para el control de la Sigatoka Negra en plantaciones bananeras en México, así como su efecto en el ambiente y la salud pública. TECNOCIENCIA Chihuahua [en línea], mayo-agosto de 2015 [revisado el 27 marzo de 2019]. Disponible en: [http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v9n2/data/Efectos\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_utilizados\\_para\\_el\\_control\\_de\\_la\\_Sigatoka\\_negra\\_en\\_plantaciones\\_bananeras.pdf](http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v9n2/data/Efectos_de_los_plaguicidas_utilizados_para_el_control_de_la_Sigatoka_negra_en_plantaciones_bananeras.pdf)